空间语言交互在不同视角下的多线索影响机制*

简尽涵[1,2] 张军恒[1,2] 晏碧华[1,2] 姬鸣[1,2]

([1]陕西师范大学心理学院; [2]陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 西安 710062)

摘　要　空间语言交互受空间线索影响，但多线索影响机制尚不明确。将环境线索、布局线索、社会空间线索编码为空间线索一致性作为核心变量，将空间视角转换能力、场认知风格作为调节变量，构建四个实验探究表述和接收过程在两种视角下的多线索影响机制。结果表明，第一人称视角下，空间参照系受空间线索的支持越多，个体越倾向于使用它进行语言表述且交互效率更高，且布局线索的支持效应大于环境线索；场独立型表述者的参照系选择受空间线索一致性影响更大；空间视角转换能力越高，表述者越倾向于承担更多认知负荷，接收者理解效率越高。第三人称视角会削弱空间线索支持效应和高空间视角转换能力者的交互优势，提高使用自我中心参照系表述空间信息的概率，还会使两类场认知风格表述者的表述过程产生不同程度的决策冲突。但无论何种视角下，使用接收者参照系进行语言表述都是提高理解效率的最优方法。

关键词　空间语言交互，空间参照系，空间视角转换，场认知风格，第一/第三人称视角

分类号　B842; B849

1 引言

在日常生活和工作中，个体常使用方位语言向他人传达客体的空间位置信息，他人接收和理解表述语言后识别客体位置，这种被广泛用于问路寻路、工程作业等空间合作任务场景中的信息交流过程被称为空间语言交互(spatial communication; 马奔川, 2021; Tosi et al., 2020; 肖承丽 等, 2019)。典型的空间语言交互涉及表述者和接收者两类角色，“表述者在掌握目标空间位置后使用方位语言传达信息给接收者”为表述过程，“接收者理解方位语言并根据所得信息找出目标位置”为接收过程，二者的交流遵从“最小合作负荷原则”，即进行空间语

收稿日期: 2024-06-02

* 国家社会科学基金(19BSH038)资助。

通信作者: 姬鸣, E-mail: jiming@snnu.edu.cn

言交互的双方需要共同承担确保相互理解的责任以尽量减少集体努力(Clark & Wilkes-Gibbs, 1986; Clark, 1996; Galati & Avraamides, 2013; Galati et al., 2013; 王笃明 等, 2021)。

空间言语模式(spatial verbal-pattern)和空间视角转换(spacial perspective taking)是空间语言交互的两大研究范畴(肖承丽 等, 2021)。空间言语模式分为语言的产生模式和理解模式。对产生模式的分析在于对表述过程的拆解。首先，表述者在组织空间语言之前需确定空间参照系(spatial reference frame; Carlson, 1999)。常见的空间参照系有 7 类（如表 1），其中自我中心和他人中心最为常用(Galati & Avraamides, 2012)。其次，表述者需借助空间参照系形成对目标、原点、方位、距离这四个要素的心理表征，即空间语言的组织过程。最后，表述者通过肢体动作或发声的方式表述信息，肢体动作一般通过手、眼等指向具体方位，表述语句则是四个要素的有机组合。因此，一般通过录音或纸笔记录表述内容、事后回忆空间场景并进行记录和分析等方法确定表述者使用的空间参照系和表述策略，分析空间语言的产生模式(Galati & Avraamides, 2015; Taylor & Tversky, 1996)。对于空间语言的理解模式，以往重点关注了接收者在不同视角下空间信息理解效率的差异(Burigo & Schultheis, 2018; Ryskin et al., 2014; Ryskin et al., 2016; Vukovic & Williams, 2015)，或使用模糊空间语句信息考察接收者的语言理解策略(Duran et al., 2011; Galati et al., 2018)。此外，当交互双方的视角差异较大时，空间视角转换是必不可少的心理过程。研究发现，表述者可能会在首次语言组织阶段进行空间视角转换，首选他人中心参照系表述空间信息(Brennan & Hanna, 2009; Ryskin et al., 2016)，也可能先使用自我中心参照系，待接收者反馈后再决定是否进行空间视角转换(Kronmüller & Barr, 2015; Shintel & Keysar, 2009)。早期部分研究认为空间视角转换能力高低及交互双方的能力匹配程度是影响空间语言交互的关键(Schober, 2009)。后来许多研究发现除空间视角转换能力等个性认知线索之外，交互场景中与空间信息有关的认知线索也能对交互双方的空间视角转换过程和空间言语模式产生影响(Galati & Avraamides, 2015; Galati et al., 2019; 谢超香 等, 2009)。因此，探索各类认知线索对空间语言交互的影响是揭示其心理机制的重要途径。

表 1 空间参照系类型

空间参照系	原点	坐标轴	举例
指示	表述者	肢体指向	表述者：“在我手指的那里”（伴随肢体指向动作）
世界中心	地标	东西南北	宿舍在食堂东面
自我中心	表述者	视线朝向	在我右手边
他人中心	接收者	视线朝向	在你右前方

物体中心	物体	结构内在轴[1]	注意汽车左前方的行人
阵列中心	阵列中心	布局内在轴	国旗队方阵最右侧的队员是排头
场景中心	场景中心	环境内在轴	老师站在教室前面的讲台上

空间语言交互中的认知线索分为环境线索、布局结构线索、社会线索。环境线索即显著的环境特征或地标等，小尺度场景中环境几何轮廓的内在轴及其朝向会影响空间关系表征(谢超香 等, 2009)，大尺度场景中的地标能作为表征空间信息的共同参照点(Peer et al., 2021; 王笃明 等, 2021)。布局结构线索分为物体结构线索与阵列布局线索（后称“布局线索”），前者指物体结构的内在轴，能被分辨“前后左右”的物体（如汽车）的内在轴既能影响个体对参照系的选择，又能直接作为参照系表征空间信息(肖承丽 等, 2019)；后者指物体阵列因知觉整体性组织原则形成的内在轴，其作用与物体结构的内在轴基本一致，但同一阵列可能存在多个内在轴，而个体主观经验、认知习惯以及场景特征会使某些内在轴更突出，参考权重更大(Mou & McNamara, 2002)。社会线索分为社会空间线索和社会个性线索。社会空间线索主要指交互双方的视线朝向，当二者的视线偏差小于 90°时，表述者更倾向于使用他人中心参照系(Galati & Avraamides, 2012)。社会个性线索通常是指交互双方的年龄、空间视角转换能力等。研究发现，当表述者知晓接收者空间视角转换能力较低时，更倾向于选择他人中心参照系以主动承担更多的认知负荷(Schober, 2009)。例如，成人与儿童进行空间语言交互时会花费更多时间进行语言描述(Newman-Norlund et al., 2009)。另外，场认知风格(field cognitive style)被视为影响空间认知的重要社会个性线索，场依存型个体倾向于使用外部环境参照表征空间信息，而场独立型个体易摆脱知觉场的干扰，倾向于使用内在感知线索表征空间信息。而且，场独立型个体通常在心理旋转、空间视角转换等任务中表现更好，说明场认知风格能在一定程度上反映空间认知能力水平的高低(Davis & Cochran, 1989; Davis, 1991; 游旭群, 于立身, 2000; 赵晓妮, 游旭群, 2007)。因此，场认知风格既可能通过影响认知线索的获取从而影响参照系的选择，也可能通过影响空间认知能力作用于空间语言交互。

以往研究多集中在对单认知线索的探讨，即使存在对多认知线索的研究，也大都局限于双线索，例如，个体倾向于使用环境线索和布局线索共同支持的参照系表征空间信息(谢超香 等, 2009)，表述者视线朝向与阵列内在轴一致时更倾向于使用自我中心参照系(Galati & Avraamides, 2015)。然而，相比单线索或双线索的实验场景，现实场景中认知线索往往是冗杂

[1] 内在轴(intrinsic axis)是由物体的旋转不对称性结构、物体所处场景的空间布局或阵列布局形成的可用潜在坐标轴。个体经验会赋予熟悉物体或规则布局一个默认的正前方向，再以该方向为基础建立内在轴。

交织的，要从中提取最有效的线索才能满足空间合作任务的要求，因此探索多线索的影响机制更具现实意义。此外，也有研究将观察视角的影响作为重要考量，因为从不同视角获取空间信息各有利弊：第一人称视角能直观地获取场景信息，但其视野有限，难以把握场景的整体结构；第三人称俯视视角常用于使用地图交流的场景，能解决视野受限的问题，但会损失高度信息，影响直观感受，阻碍客体特征的识别(马奔川, 2021)。马奔川(2021)发现相比于第一人称视角，接收者在第三人称俯视视角下，使用不同参照系的表述语句，其产生的理解效率的差异更小，即第三人称俯视视角削弱了语句参照系的主效应，这说明不同视角下对同一空间信息的理解难度不同。不过，目前关于观察视角的研究较少，且多线索交互场景下的影响机制尚不明确。因此，观察视角是否会通过对空间信息理解难度的影响，进而影响到其他认知线索的效应大小是本研究的一个重点。

根据空间视角转换的“两阶段模型理论”，表述者最初倾向于使用自我中心参照系，当发现与接收者存在理解偏差时才会考虑使用他人中心参照系(Horton & Keysar, 1996; Keysar, Barr, Balin, et al., 1998; Keysar, Barr, & Horton, 1998; Kronmüller & Barr, 2015; Shintel & Keysar, 2009)。Galati 和 Avraamides(2015)的研究指出“两阶段模型理论”既不适用于多线索交互的场景，也不完全符合“最小合作负荷原则”，并提出了“概率组合理论”。该理论认为个体在表征和记忆空间信息时会参考多种空间线索来确定建立空间参照系的方向（坐标轴），根据每种线索的显著性及其与任务的相关性赋予其相应大小的影响权重，多线索交互场景下个体会对每种线索的影响力进行加权，对它们做出概率性的选择或组合(Clark & Wilkes-Gibbs, 1986; Clark, 1996; Galati & Avraamides, 2015; McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 2001)。而后，Galati 和 Avraamides(2015)通过构建布局结构线索与表述者或接收者视线朝向一致的交互场景，发现这样确实能够提高个体使用双线索组合表征和记忆空间信息的概率，且这种方式遵从“最小合作负荷原则”，证实了该理论的合理性。此外，根据“双系统模型理论”，空间关系存在多种表征形式，表述者既能表征个体（社会空间线索）与物体之间的关系，也能表征物体与物体（布局结构线索）以及物体与环境结构（环境线索）之间的关系等(Burgess, 2006; 谢超香 等, 2009)。因此，本研究认为除布局结构线索外，其他空间线索也可能影响个体使用自我中心或他人中心参照系表述空间关系的倾向，而且多空间线索的交互作用会对参照系选择产生更为复杂的影响，特别是在不同观察视角下多空间线索之间存在一致或冲突的场景中，不同空间线索如何影响参照系选择、交互绩效以及它们的影响权重是否存在差异，个体的空间

视角转换能力以及场认知风格在其中如何发挥作用，这些是本研究想要解决的核心问题。

综上，我们决定在经典空间语言交互实验场景的基础上提高真实性和情境性，构建小尺度的室内虚拟场景以便于操纵多种认知线索的变量水平来探究其影响机制。如图 2e，为区分变量关系和简化自变量的操纵，将社会空间线索（表述者与接收者的视线朝向）、环境线索、布局线索统称为空间线索并重新编码为一个变量——空间线索一致性，然后引入空间视角转换能力和场认知风格两类个性线索以及视角因素。此外，以往多以研究表述过程为主，少有研究接收过程，因此为探索语言交互过程中信息传递的完整过程，构建完备的理论框架，我们进行了两项对称研究：研究一探索在第一人称视角（实验 1）和第三人称俯视视角（实验 2）下表述过程的多线索影响机制，研究二探索在第一人称视角（实验 3）和第三人俯视视角（实验 4）下接收过程的多线索影响机制。总体上提出 4 点假设：H1：空间语言交互中存在多空间线索的支持效应：表述者在选择自我中心或他人中心参照系时，更倾向于选择受较多空间线索支持的参照系，且其表述效率更高(H1a)；接收者对使用相应参照系的表述语句具有更高的理解效率(H1b)。H2：高空间视角转换能力的表述者更倾向于选择他人中心参照系(H2a)，场独立型表述者在选择参照系时对空间线索一致性的变化更加敏感(H2b)。H3：高空间视角转换能力(H3a)和场独立型认知风格(H3b)能够正向预测个体的空间语言交互效率。H4：采用第三人称俯视视角能够削弱其他认知线索的影响。

2 研究一：表述过程的影响机制

2.1 实验 1：第一人称视角下表述过程的影响机制

探讨第一人称视角下，空间线索一致性、空间视角转换能力和场认知风格对表述者参照系选择和表述效率的影响。

2.1.1 被试

采用 G*Power(Version 3.1.9.7, Heinrich Heine University, Germany)软件里 Exact 检验族中的 Liner multiple regression: Random model 方法进行估计。将 H1 ρ^2 设置为 0.35，H0 ρ^2 设置为 0，α设置为 0.05，统计检验力 1-β设置为 0.8，预测变量的数量设置为 7（即式(1)中固定效应的数量），计算出被试量至少为 37 人。

本实验共招募 59 名健康大学生被试，1 名被试经过多次指导后依然未能理解任务规则中途放弃；2 名被试测谎结果为异常（详见“2.1.4 实验程序”）；1 名被试未能完成两项纸笔测验；1 名被试重复招募；1 名被试在实验过程中多次向主试询问实验目的，猜测实验意图。

去除无效数据，最终有 53 名被试的数据纳入统计分析，其中女生 35 名，男生 18 名，年龄在 17 到 25 岁之间(M = 19.21, SD = 1.76)，均为右利手，视力或矫正视力正常，此前均未参加过与本研究相关的实验。

2.1.2 实验仪器与材料

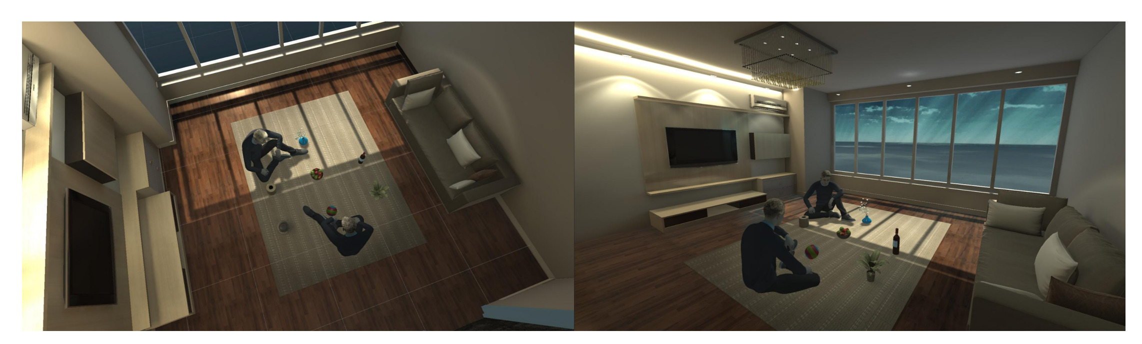
实验包含纸笔测验和虚拟场景实验。纸笔测验打印在 A4 纸上，采用铅笔和橡皮作答，被试需要完成两项纸笔测验：测量空间视角转换能力的客体视角测验(Object Perspective Test)和测量场认知风格的镶嵌图形测验(Embedded Figures Test)。虚拟场景实验使用的电脑屏幕大小为 27 英寸，分辨率为 1920×1080，刷新率为 75Hz。

客体视角测验为 Hegarty 和 Waller(2004)修订的版本（详见网络版附录），测验要求被试根据题目描述，想象自身处于地图中某一标志物的位置，面部朝向另一标志物，判断目标物相对于自身的方位，并将目标的方位尽可能准确地画在圆圈方位图中（圆圈方位图中正上方的箭头为想象中的面部朝向）。答题过程中允许被试用橡皮修改，但不允许转动标志物地图和圆圈方位图。测验共 8 个项目，其视角转换角度均大于或等于 90°，其正确答案平均分布在圆圈方位图的四个象限内，每个象限 2 个。原测验中将作答方位与正确方位之间的误差角度平均值作为测验成绩，分数越低能力越高。本研究为了便于数据的分析和理解，令分数与能力的高低性一致，采取反向计分，用 180°减去平均误差角度作为最终测验分数。

镶嵌图形测验使用宋合义(1988)修订的中文版，要求被试在每个题目给出的复杂图形中找出指定的简单图形，并将其轮廓用铅笔涂黑，作答时可以使用橡皮修改。测验中包含一张简单图形集合的附录随时供被试翻阅，用于寻找每个题目中所指定的简单图形。测验包括 3 个部分，第一部分包含 9 个题目（练习不计分），后两部分各包含 10 个题目（1-2 题各记 0.5 分，3-4 题各计 2 分，5 到 10 题各计 1.5 分，满分 24 分），每部分作答时间限时 5 分钟(李寿欣, 宋广文, 1994)。考虑到常模平均分可能不适用当下时代背景，本研究使用样本平均分作为划分场认知风格类型的标准。

虚拟室内场景使用 Unity 3D 软件构建，选取素材构建一个类似于客厅的环境，客厅中央的地毯上摆放 7 个日常物品组成的物体阵列，两个虚拟人物代表空间语言交互的双方，即表述者和接收者，如图 1a 和图 1b。实验 1 为第一人称视角下空间信息的表述任务，因此在代表表述者的虚拟人眼睛位置放置一个摄像机，用以捕捉第一人称视角的画面，如图 1c。第一人称视角视野范围的选取遵守了 Henson(1993)提出的人眼总视野极限，人类两只眼睛总视野为

200°，但总视野两侧各有约 40°属于单眼视野模糊的区域，因此一般认为水平双眼可视范围为 124°，垂直视角为 70°(Blake & Fox, 1973)。为了保证虚拟场景中选取的第一人称视角符合人眼知觉经验，同时保证场景画面比例符合显示器 16 : 9 的规格，最终选取摄像机的垂直视角为 70°，水平视角为 102.447°。使用摄像机捕捉到的第一人称视角画面截图作为实验的刺激材料，如图 1d。



(a)虚拟场景　　　　(b)虚拟场景



(c)摄像机　　　　(d)第一人称视角画面

图 1 第一人称视角下构建的空间语言交互场景

2.1.3 实验设计

实验采用多因素混合设计，共包含 3 个自变量：空间视角转换能力（客观视角测验得分越高代表能力越强，连续变量）、场认知风格（场独立型和场依存型，二分变量）为被试间变量，空间线索一致性为被试内变量（空间线索一致性有 4 个水平）。为了检验 H1，探索多种空间线索的影响机制，同时简化实验操纵和多因素模型，故而将社会空间线索（表述者视线朝向、接收者视线朝向）、环境线索（场景内在轴）、布局线索（阵列内在轴）共 3 种（4 个）空间线索重新编码为空间线索一致性，作为实验的核心自变量。有关空间坐标轴的分类和归纳详见表 1。本实验参考了谢超香等(2009)以及 Galati 和 Avraamides(2015)的实验方法，通过改变虚拟场景中人物与环境之间的关系，对 4 个空间线索进行操纵，进而构建出 4 个一致性水平下的空间语言交互场景。

在如图 1d 的表述者第一人称视角下，观察主体（表述者）的视线朝向所形成的坐标轴，

即表述者轴，与作为原点的观察主体本身（表述者）共同构成了自我中心空间参照系；第一人称视野中由虚拟人（接收者）面部朝向所形成的坐标轴即是接收者轴，与作为原点的虚拟人本身（接收者）共同构成了他人中心参照系。表述者视线朝向和接收者视线朝向即为两个社会空间线索；房间墙壁形成的轮廓、房间中央矩形的地毯、窗户框架的阴影、与墙壁平行摆放的沙发和电视等形成了场景内在轴，即环境线索，如图 1b；7 个物体组成的阵列在知觉组织原则下形成了阵列内在轴，即布局线索，如图 3。

参考谢超香等(2009)的方法，将不同空间线索的坐标轴之间相互平行或垂直定义为“一致”，“一致”即代表这些线索之间互相“支持”对方所对应的参照系。例如，布局轴与表述者轴“一致”，则说明布局线索“支持”表述者中心参照系（在表述者第一人称视角下即为自我中心参照系）。同时，将轴之间的夹角呈 45°或 135°的关系定义为“不一致”。然后，将表述者与接收者的视线夹角固定为 135°，即表述者轴与接收者轴一直处于不一致的状态，而环境轴或布局轴则只会存在两种状态，或与表述者轴一致（与接收者轴不一致），或与接收者轴一致（与表述者轴不一致），以研究自我中心和他人中心参照系在不同空间线索支持的情况下，被试将如何从二者中进行抉择。

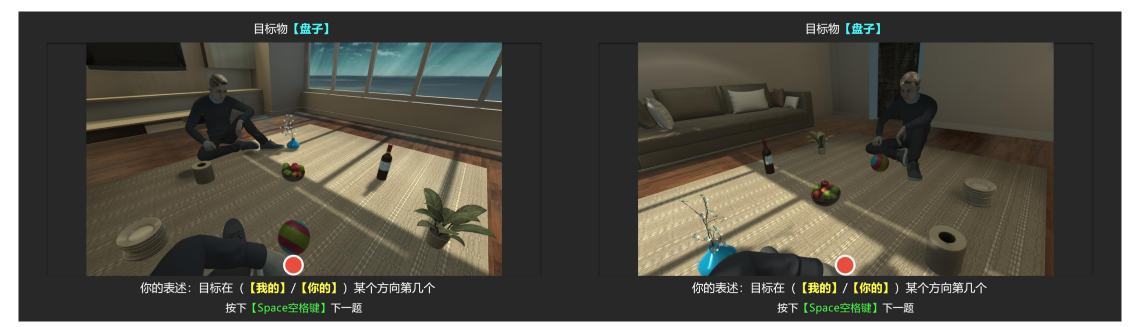
通过改变虚拟场景中的环境特征、物体阵列布局、以及人物之间的空间关系来确定空间线索一致性的不同水平，如图 2。水平 1 中，表述者轴、环境轴和布局轴处于一致，然后基于水平 1，改变物体阵列的布局轴与视线朝向的关系，令布局线索支持接收者参照系，定义为水平 2。以此类推，基于水平 1，令环境线索支持接收者参照系，定义为水平 3，而当布局线索和环境线索均支持接收者参照系时，为水平 4。因为水平 1 与水平 4 中均存在 3 种空间线索处于一致（即水平 1 中环境和布局线索均支持表述者中心参照系，而水平 4 中均支持接收者中心参照系），根据假设（即多空间线索支持效应存在），被试可能更容易选择较多线索支持的参照系，故称之为高一致水平；而在水平 2 与水平 3 中，4 种空间线索两两一致，即环境轴和布局轴各自支持不同的参照系（表述者或接收者中心参照系），这可能会令被试进行参照系选择时产生更多的决策冲突，故称之为低一致水平，如图 2e 所示。

所以，在分析结果时，如果发现水平 1 与水平 4 差异显著，或任意高一致性水平与低一致性水平的差异显著，即水平 1 时被试更倾向于选择自我中心参照系，水平 4 时更倾向于选择他人中心参照系，则均能说明多空间线索的支持效应存在，如图 2e 中的“a”所示；如果发现水平 1 与水平 2 的差异显著，或水平 3 与水平 4 的差异显著，则说明布局线索的支持效应

存在，这是因为它们之间均只有布局线索的支持发生了改变，如图 2e 中的“b”所示；同理如果发现水平 1 与水平 3 的差异显著，或水平 2 与水平 4 的差异显著，则说明环境线索的支持效应存在，如图 2e 中的“c”所示；此外如果发现水平 2 与水平 3 之间的差异显著，则能比较出布局线索与环境线索的支持效应孰大孰小，如图 2e 中的“d”所示。



(a)水平 1　　(b)水平 2



(c)水平 3　　(d)水平 4

一致性水平	表述者轴	环境轴	布局轴	接收者轴
1(高)	✣	✣	✣	✕
2(低)	✣	✣	✕	✕
3(低)	✣	✕	✣	✕
4(高)	✣	✕	✕	✕

a*　*b　*c　*d　*b　*c

红色部分代表环境轴或布局轴与表述者轴一致

蓝色部分代表环境轴或布局轴与接收者轴一致

a. 多空间线索的支持效应存在；b. 布局线索的支持效应存在；

c. 环境线索的支持效应存在；d. 布局线索与环境线索支持效应的大小比较

(e)一致性水平与空间线索的关系

图 2 第一人称视角下四种空间线索一致性水平对应的信息表述任务场景

实验记录被试反应的 3 个因变量：参照系选择（被试使用“我的”作为方位词的修饰主语代表其使用了自我中心参照系；使用“你的”作为方位词的修饰主语代表其使用了他人中心参照系，二分变量）、组织时长（从呈现实验刺激到点击录音键开始表述所用的语言组织时长）、语音时长（实验规定了表述语句的规则，语句的字数固定，描述空间信息的难易程

度会通过语速快慢体现）。

实验还控制了 3 类可能的影响因素：第一，重复测量，在混合模型中选择合适的重复测量协方差结构来规避个体内重复测量导致的数据自相关问题。第二，代表个体空间语言参照系偏好或言语能力的个体间差异。有研究发现个体存在空间参照系偏好，这是一个相对稳定的个性变量(Goeke et al., 2015; Gramann et al., 2005)，空间参照系的选择则会受到空间参照系偏好的影响。此外，语言组织时长和语音表述时长还会受到个体言语能力的影响。因此，将个体随机截距纳入混合模型中设为个体层面的随机效应，以控制个体间差异。第三，目标物体的结构特征及其所处的空间位置。首先，如图 3，为了避免物体固有的方向性特征对实验造成额外影响，故选取了 7 个没有明确前后概念的物体，排除了物体潜在的结构内在轴对被试决策的影响。其次，将阵列中的 7 个物体在 4 个一致性水平的虚拟场景中轮流一遍作为目标物，组成了实验任务的 28 个正式试次。7 个物体在阵列中的相对位置是固定的，为了避免物体所处空间位置的特殊性对因变量产生影响，故对阵列中的物体进行编号，并将目标物体序号的主效应项（代表物体在阵列中的相对位置）以及目标物体序号与一致性水平的交互项（代表物体所处观察视野中的空间位置）纳入模型中，作为模型固定效应中的控制变量。

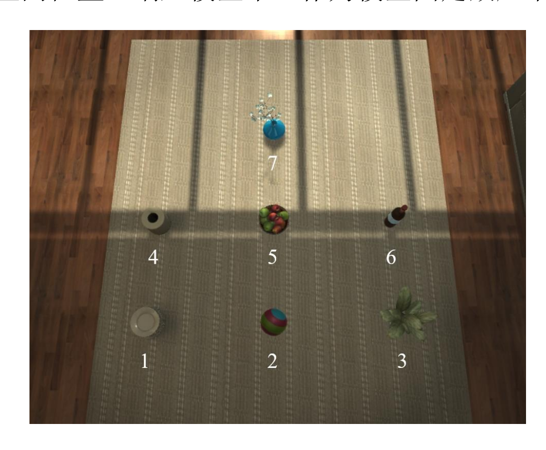


图 3 物体阵列及其位置编号

2.1.4 实验程序

被试先完成两项纸笔测验，然后在电脑上进行第一人称空间信息表述任务，任务程序使用 MATLAB 编写并运行。如图 4，任务开始后先给被试呈现指导语和反应要求，告知被试想象自己作为空间语言交互中的表述者，面对的虚拟人物是接收空间信息的搭档，需要将每个实验试次所指定的目标物位置信息以指定的表述规则（“目标在我的/你的某个方向第几个”）传达给搭档。试次中，首先会在屏幕中间靠上的位置呈现持续 2s 的注视点“+”，随后在注视点消失的位置呈现目标物的名称，同时给出第一人称视角的交互场景，要求被试依据当下的

场景选择最佳的表述方式（自我中心或他人中心参照系），并使用鼠标点击窗口下方的黄色词汇（“我的/你的”，如图 2a）进行参照系的选择，组织好语言后点击录音键，根据指导语所规定的言语规则进行表述并录音，录音完毕后点击结束键停止录音。紧接着，程序会自动播放一遍所录语音供被试检查，如果存在不清晰或说错等问题则可以点击录音键重新录音，直至确认无误后方可按空格键进入下一题。被试需要先完成练习阶段的 6 个试次以熟悉实验流程（练习试次是从正式试次库中随机抽取的），之后完成正式实验的 28 个试次（试次呈现的顺序是随机），整个实验共需 40 分钟左右。

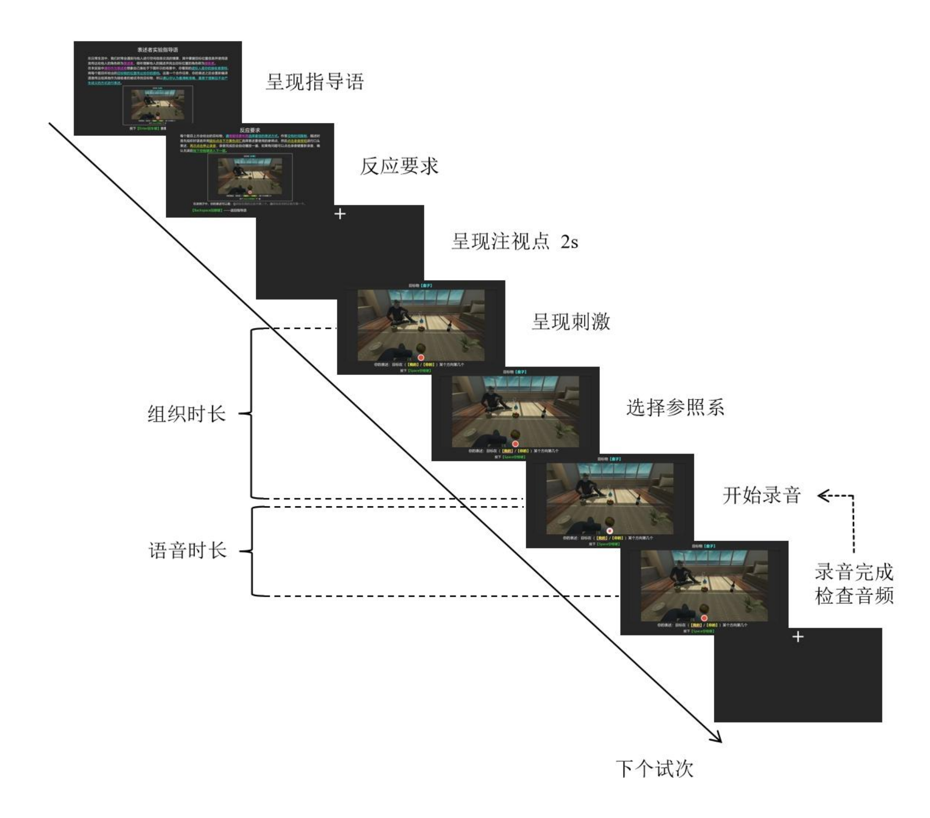


图 4 实验 1 流程图

值得注意的是，由于通过表述者实验的练习阶段并不需要满足硬性的绩效指标，为了判断被试是否真实理解指导语且认真作答，在被试完成实验后需进行测谎环节。测谎环节以口头询问的方式进行：主试向被试展示 4 个一致性水平场景的图片，询问当目标物均为“水果”时，被试所认为的最佳表述参照系是自我中心还是他人中心，并做记录。将测谎阶段的结果与正式实验中对应试次的反应结果进行对比，如果一致率低于 75%，则该被试将被标记为异常，其反应数据无效且不计入统计分析。

2.1.5 结果与分析

(1) 模型构建与数据预处理

由于自变量和因变量都同时包括离散和连续变量，且涉及重复测量的问题，所以选用了在处理重复测量数据、非正态分布数据以及数据自相关问题时具有优势的广义线性混合模型(Generalized linear mixed model, GLMM; 张久权 等, 2021)，试图建立能够预测反应结果的拟合模型，以便于研究结果和结论在未来能够为人工智能预测和理解人的意图提供帮助。本实验拟构建的 GLMM 如式(1)。

$$\underbrace{g\left(E\left[Y_{ijk}\right]\right)}_{\text{线性预测子}}=\underbrace{\beta_0}_{\text{截距}}+\underbrace{X_{1j}\beta_{1j}+X_{2i}\beta_2+X_{3i}\beta_3}_{\text{固定效应中的主效应}}+\underbrace{X_{1j}X_{2i}\beta_{4j}+X_{1j}X_{3i}\beta_{5ji}}_{\text{固定效应中的交互效应}}$$
$$+\underbrace{X_{4k}\beta_{6k}+X_{1j}X_{4k}\beta_{7jk}}_{\text{固定效应中的控制变量效应}}+\underbrace{u_i}_{\substack{\text{随机效应}\\ \text{（个体随机截距）}}} \quad (1)$$

其中，Y_{ijk} 是被试 i 在水平 j 目标物体 k 的试次上的反应结果，即因变量的测量值；$E[Y_{ijk}]$ 是因变量的期望值，即因变量的预测值；$g(\cdot)$是链接函数，期望值通过链接函数转换为线性预测子；X_1 是一致性水平的哑变量矩阵，X_2 是空间视角转换能力，X_3 是场认知风格，X_4 是目标物体编号的哑变量矩阵，核心自变量 X_1 与其他自变量的乘积项即为与研究目的相关的交互作用；β_0 是截距项，表示因变量平均值的 $g(\cdot)$值；β_1 是一个包含 4 个一致性水平系数的行向量，其中非 0 系数有 3 个，本研究中统一将水平 1 设为参照水平，以此类推，其他β即为对应变量主效应或交互效应的系数或系数矩阵；u 是随机效应，是用于控制个体间差异的个体随机截距。值得注意的是，式(1)中并没有残差项ε，这是因为在 GLMM 的公式中，残差项一般不会显式表达，而是隐含在分布假设和随机效应结构中(Hardin & Hilbe, 2012)。当模型通过 u 分离出了个体间差异后，残差ε主要反映的就是个体内部的变异，包括个体内的测量误差（主要是重复测量）、模型无法解释的个体内变异或其他随机波动(Hox et al., 2017)。

对数据进行预处理，将 53 名被试的测验原始分数和任务反应数据等录入 SPSS 进行分析，对客体视角测验得分(M = 166.03, SD = 7.32)进行标准化处理，作为衡量空间视角转换能力的指标；镶嵌图形测验平均分(M = 17.15, SD = 4.70)以上为场独立型（占 58.5%），以下为场依存型（占 41.5%），且较好地区分了两种场认知风格的被试，$t(28.63) = 8.02$，$p < 0.001$（双尾），*Cohen's d* = 2.48，95% CI = [5.49, 9.25]。

(2) 参照系选择

参照系选择的结果为自我中心参照系占比48.8%，他人参照系占比51.2%。使用二元 logistic 回归进行逐步回归模型检验。为防止产生共线性问题，先将固定效应中的自变量依次引入，

再引入自变量之间的交互项，最后引入控制变量项（即按照式(1)中固定效应变量的顺序依次引入），引入和移除变量的显著性标准设定为 0.05。随机效应设为代表个体空间参照系偏好的随机截距，同时由于实验随机效应之间相互独立，所以在综合比较后，择优采用“已刻度的恒等式”设定为随机截距和重复测量的协方差类型，以控制重复测量带来的误差。结果如表 2。

表 2 第一人称视角下参照系选择的逐步回归模型摘要($N = 53 \times 28 = 1484$)[2]

响应变量：参照系选择				显著性检验				效应量
模型 [a]	准确率	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	66.10%	6443.44	6454.03	3	1480	41.20	<0.001	0.077
一致性水平				3	1480	41.20	<0.001	0.077
2	66.00%	6451.31	6461.90	4	1479	32.43	<0.001	0.081
视角转换能力				1	1479	9.02	0.003	0.006
3	66.40%	6468.42	6479.00	8	1475	17.27	<0.001	0.086
一致性水平×场认知风格				4	1475	2.91	0.02	0.007
4[b]	78.30%	9520.63	9531.18	32	1451	8.98	<0.001	0.165
一致性水平×目标物体				24	1451	10.36	<0.001	0.143

a. 模型均包含截距项（下同）

b. 在引入交互项一致性×目标物体的同时移除了一致性水平，说明两者具有较强的共线性

步骤 1 发现一致性水平的主效应显著，将一致性水平设为哑变量，以水平 1 为参考进行回归系数检验，发现水平 2 的回归系数显著，$\beta = 1.34$，$t(1480) = 8.67$，$p < 0.001$，$OR = 3.83$，95% CI = [1.04, 1.65]；水平 3 的回归系数显著，$\beta = 0.48$，$t(1480) = 3.16$，$p = 0.002$，$OR = 1.62$，95% CI = [0.18, 0.78]；水平 4 的回归系数显著，$\beta = 1.48$，$t(1480) = 9.43$，$p < 0.001$，$OR = 4.37$，95% CI = [1.17, 1.78]。说明线索一致性处于水平 2、水平 3、水平 4 时，被试选择他人参照系的倾向性分别是水平 1 的 3.83 倍、1.62 倍、4.37 倍。使用 Sidak 法两两比较发现，线索一致性处于水平 2 与水平 4 时被试参照系的选择倾向差异不显著，其他水平之间的差异均显著。

[2] 模型拟合度优劣指标有两个：一是信息标准(Information Criterion, IC)，包括对有限样本校正的赤池信息准则(Akaike Information Corrected Criterion, AICC)和贝叶斯信息准则(Bayesian Information Criterion, BIC)，常用于多个模型拟合度的比较，值越小越好；二是 logistic 回归模型所特有的预测准确率，准确率能最为直观的展示模型对观测数据的拟合度，以百分比表示。在效应量方面，使用 R^2 来报告模型 F 检验的效应量；使用偏 R^2 来报告固定效应 F 检验的效应量；使用 OR 值来报告 logistic 回归系数的效应量；使用 *Cohen's d* 来报告 t 检验的效应量。样本量 $N = n \times k$，其中 n 为被试人数，k 为每位被试的测量次数，N 为总的测量数据点数。

处于水平 1、水平 3 时更易让被试产生选择自我中心参照系的倾向，处于水平 2、水平 4 时更易让被试产生选择他人中心参照系的倾向。其中，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(1480) = -9.33$，*Cohen's d* = -0.69，95% CI = [-0.41, -0.23]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(1480) = -10.31$，*Cohen's d* = -0.76，95% CI = [-0.44, -0.26]；水平 3 与水平 2 的差异显著，$t(1480) = -5.90$，*Cohen's d* = -0.43，95% CI = [-0.30, -0.13]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(1480) = -6.81$，*Cohen's d* = -0.50，95% CI = [-0.33, -0.15]，$ps < 0.001$。且与水平 3 相比，水平 1 更易让被试产生选择自我中心参照系的倾向，$t(1480) = -3.18$，$p = 0.003$，*Cohen's d* = -0.23，95% CI = [-0.19, -0.03]，如图 5。结果支持 H1a，说明参照系受到空间线索的支持越多，被试越倾向于选择该参照系，多空间线索的支持效应存在，且布局线索比环境线索的支持效应更大。

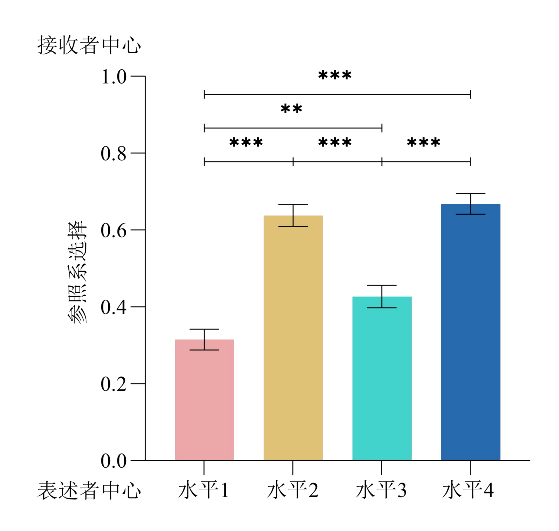


图 5 第一人称视角不同一致性水平下的参照系选择($M \pm SE$，**误差线为标准误，** $*p < 0.05$，$**p < 0.01$，$***p < 0.001$，**下同**)

步骤 2 发现空间视角转换能力的主效应显著，回归系数显著，$\beta = 0.22$，$t(1479) = 3.00$，$p = 0.003$，$OR = 1.24$，95% CI = [0.08, 0.36]，说明空间视角转换能力每提高 1 个标准差，被试选择他人中心参照系的倾向性就会提高 1.24 倍，即高能力者会主动承担更多的认知负荷，符合“最小合作负荷原则”，支持 H2a。

步骤 3 发现空间线索一致性与场认知风格的交互效应显著。将一致性水平设为哑变量，以场依存型为参考进行回归系数检验，发现处于水平 1 时，场独立型的回归系数显著，$\beta = -0.59$，$t(1475) = -2.38$，$p = 0.018$，$OR = 0.56$，95% CI = [-1.07, -0.10]。说明在水平 1 时，与场依存型被试相比，场独立型被试选择他人参照系的倾向性是其 0.56 倍。使用 Sidak 法对两种场认知风格被试在不同线索一致水平下参照系选择倾向两两比较发现，场依存型被试在水平 1 条件

下比水平 2、水平 4 更倾向于选择自我中心参照系。其中，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(1475) = -4.32$，*Cohen's d* = -0.24，95% CI = [-0.39, -0.09]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(1475) = -4.32$，*Cohen's d* = -0.24，95% CI = [-0.39, -0.09]，$ps < 0.001$。场独立型被试在水平 1、水平 3 条件下比水平 2、水平 4 更倾向于选择自我中心参照系。其中，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(1475) = -8.62$，*Cohen's d* = -0.83，95% CI = [-0.49, -0.27]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(1475) = -10.01$，*Cohen's d* = -0.96，95% CI = [-0.55, -0.32]；水平 3 与水平 2 的差异显著，$t(1475) = -5.65$，*Cohen's d* = -0.54，95% CI = [-0.37, -0.15]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(1475) = -6.89$，*Cohen's d* = -0.66，95% CI = [-0.43, -0.20]，$ps < 0.001$。场独立型被试在水平 1 条件下比在水平 3 条件下更倾向于选择自我中心参照系，$t(1475) = -2.69$，$p = 0.015$，*Cohen's d* = -0.26，95% CI = [-0.22, -0.02]，如图 6。再次使用 Sidak 法在四种一致性水平上对两种场认知风格被试的参照系选择进行差异检验，结果发现二者在水平 1 条件下的差异显著，$t(1475) = -2.36$，$p = 0.018$，*Cohen's d* = -0.25，95% CI = [-0.23, -0.02]。说明空间线索一致性对场独立型被试的参照系选择影响更大，结果支持 H2b。

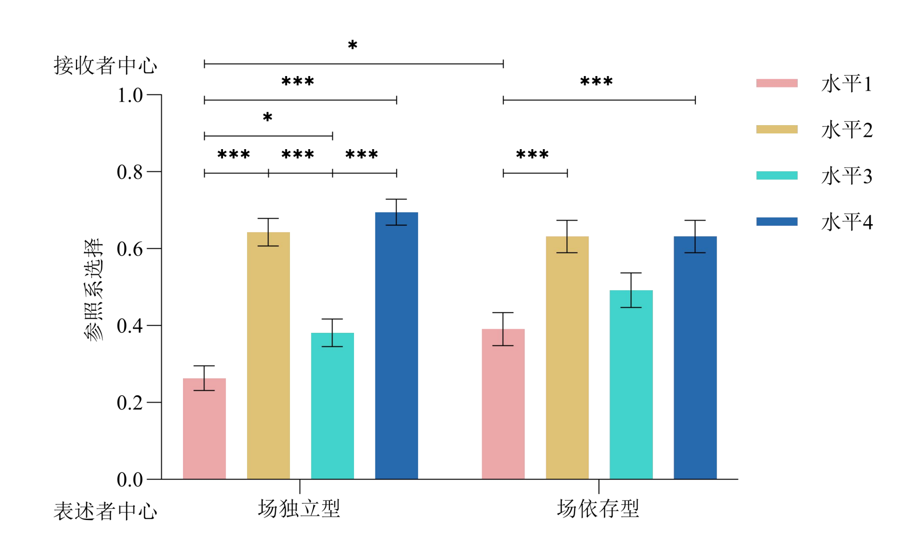


图 6 第一人称视角下两种场认知风格被试在不同一致性水平的参照系选择

步骤 4 发现空间线索一致性和目标物体的交互作用显著，说明目标物体所处观察视野中的空间位置对参照系选择具有显著影响，由于目标物空间位置只作为控制变量，因此不再分析。通过对比发现，模型 4 具有最高的准确率 78.3%（对选择自我中心参照系的预测率为 75.6%，对选择他人中心参照系的预测率为 80.9%），且协方差参数均显著[3]，*Var* = 0.34（随机截距），

[3] GLMM 的协方差参数检验包括了随机效应与残差效应的方差和协方差，由于本研究假设随机效应间相互独

$Z = 3.09$，$p = 0.002$，95% CI = [0.18, 0.64]，*Var* = 0.83（残差效应），$Z = 26.43$，$p < 0.001$，95% CI = [0.77, 0.90]，说明模型 4 较好地控制了个体差异和重复测量引起的误差，为逐步回归得到的最优模型。

(3) **组织时长**

对被试组织时长($M = 6.44$s, $SD = 4.59$s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(1484) = 0.17$，$p < 0.001$（双尾）。尝试使用伽马分布作为广义线性混合模型的分布假设，使用相应的对数函数作为链接函数，估计方法为稳健估计，使用逐步法引入固定效应变量，引入顺序见式(1)，随机效应设为代表语言组织能力的个体随机截距，采用“已刻度的恒等式”设定随机截距和重复测量的协方差类型。结果如表 3。

表 3 第一人称视角下组织时长逐步回归模型摘要($N = 53 \times 28 = 1484$)

响应变量：组织时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布[4]	2790.13	2800.72	3	1480	4.44	0.004	0.009
一致性水平				3	1480	4.44	0.004	0.009
2	伽马分布	2348.99	2359.57	9	1474	28.56	<0.001	0.148
目标物体				6	1474	33.08	<0.001	0.115
3	伽马分布	2372.56	2383.12	27	1456	16.36	<0.001	0.233
一致性水平×目标物体				18	1456	2.01	0.007	0.019
4[a]	正态分布	28726.94	28737.52	9	1474	16.27	<0.001	0.090

a. 模型 4 基于模型 2 的设计矩阵

步骤 1 发现一致性水平的主效应显著，将一致性水平设为哑变量，以水平 1 为参考进行回归系数检验，发现水平 2 的回归系数显著，$\beta = 0.09$，$t(1480) = 2.42$，$p = 0.016$，*Cohen's d* = 0.18，95% CI = [0.02, 0.15]；水平 3 的回归系数显著，$\beta = 0.11$，$t(1480) = 3.32$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = 0.24，95% CI = [0.05, 0.18]。使用 Sidak 法进行两两比较发现，空间线索一致性处于水平 1 时组织时间最短，处于水平 3 时组织时间最长，二者差异显著，$t(1480) = -3.27$，$p = 0.007$，*Cohen's d* = -0.24，95% CI = [-1208.09, -130.40]，如图 7。说明被试在空间线索处于高一致水平

立，故结果只有各自的方差估计值 *Var*，95% CI 即为 *Var* 的置信区间。

[4] 对于正偏态数据尝试选用伽马分布假设建立模型，确定逐步回归的最优模型后，以此为基础使用正态分布假设建立对照模型，对比两者的信息标准找出最优分布假设。本研究中所有与时间有关的因变量数据都为正偏态分布，最终结果都是使用伽马分布假设构建广义线性混合模型更利于拟合数据，因此之后只在表格中列出对比结果，不再过多解释。

时比处于低一致水平时的表述效率更高，支持 H1a。

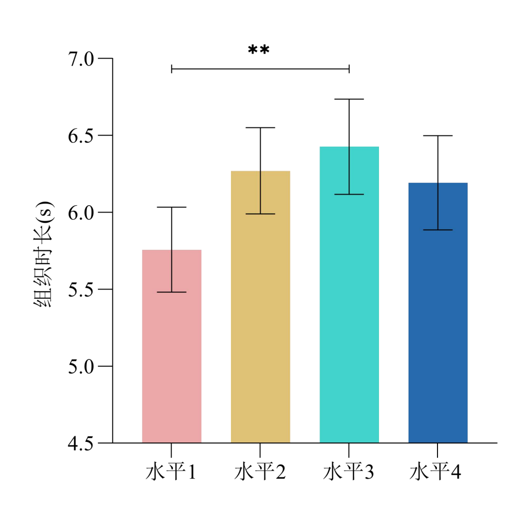


图 7 第一人称视角不同一致性水平下的组织时长

步骤 2 和步骤 3 发现控制变量目标物体的主效应显著，控制变量一致性水平和目标物体的交互作用显著，说明目标物体所处阵列中的相对位置以及目标物体所处观察视野中的空间位置能够影响表述者第一人称视角下空间语言的组织时长。对比拟合指标发现，逐步回归的模型 2 为最优模型，在模型 2 的基础上改用正态分布假设建立模型 4，对比两个模型的 AICC 和 BIC，发现模型 2 的拟合度远高于模型 4，且协方差参数均显著，$Var = 0.08$（随机截距），$Z = 4.57$，95% CI = [0.05, 0.12]，$Var = 0.26$（残差效应），$Z = 26.67$，95% CI = [0.24, 0.28]，$ps < 0.001$，说明使用伽马分布假设建立的模型 2 能更好地拟合数据。

(4) **语音时长**

对被试语音时长($M = 3.65$s, $SD = 0.84$s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(1484) = 0.09$，$p < 0.001$（双尾），故使用伽马分布作为广义线性混合模型的分布假设，模型建立方法与组织时长相同。结果如表 4，固定效应中各个自变量的效应均不显著，只有两个控制变量项的效应显著，模型 2 为最优模型。综合此前对组织时长的分析后发现，空间视角转换能力和场认知风格对表述绩效没有影响，部分 H3 不成立。

表 4 第一人称视角下语音时长逐步回归模型摘要($N = 53 \times 28 = 1484$)

响应变量：语音时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	-1121.07	-1110.48	6	1477	5.31	<0.001	0.021
目标物体				6	1477	5.31	<0.001	0.021
2	伽马分布	-1027.77	-1017.21	27	1456	3.73	<0.001	0.065

一致性水平×目标物体				21	1456	1.97	0.005	0.027
3	正态分布	22932.40	22942.96	27	1456	3.42	<0.001	0.060

2.2 实验 2：第三人称视角下表述过程的影响机制

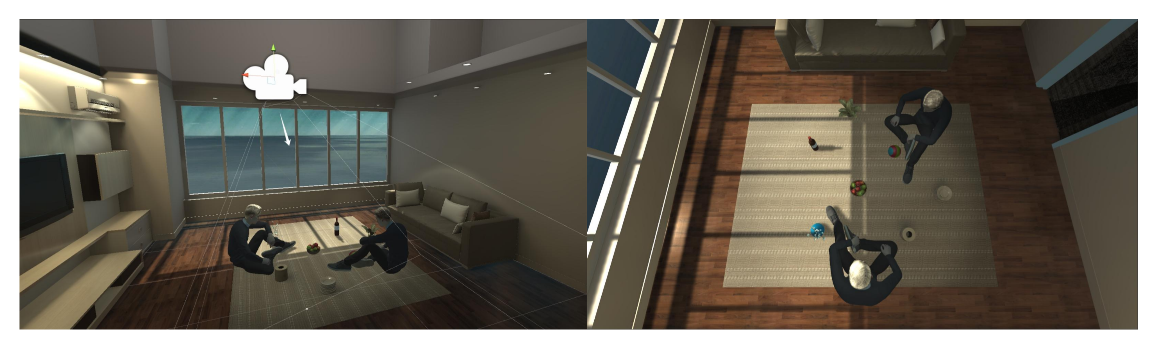
探讨第三人称俯视视角下空间线索一致性、视角转换能力和场认知风格对表述者参照系选择和表述效率的影响。

2.2.1 被试

通过与实验 1 相同的方法估算出被试量至少为 37 人。本实验共招募 48 名健康大学生被试，其中 1 名被试未能完成镶嵌图形测验；1 名被试测谎结果为异常；1 名被试在实验过程中猜测实验者意图，存在霍桑效应。去除无效数据，最终有 45 名被试的数据纳入统计分析，其中女生 28 名，男生 17 名，年龄在 17 到 27 岁之间(M = 19.98, SD = 2.54)，所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常，此前均未参加过与本研究相关的其他实验。

2.2.2 实验仪器与材料

实验仪器等硬件、设计程序所用软件、纸笔测验均与实验 1 相同。由于实验 2 为第三人称俯视视角下的空间信息表述任务，所以对摄像机取景的设置有所不同。为了在第三人称俯视视角下展现完整且清晰的场景信息，且保证 16 : 9 的画面比例，将摄像机放置在人物上方的适宜高度，垂直视野设为 75°，水平视野设为 107.512°，摄像机的朝向与垂直方向成 15°，如图 8a。摄像机在不同空间线索一致性水平下所捕捉到的第三人称视角画面作为实验任务的刺激材料，如图 8b。

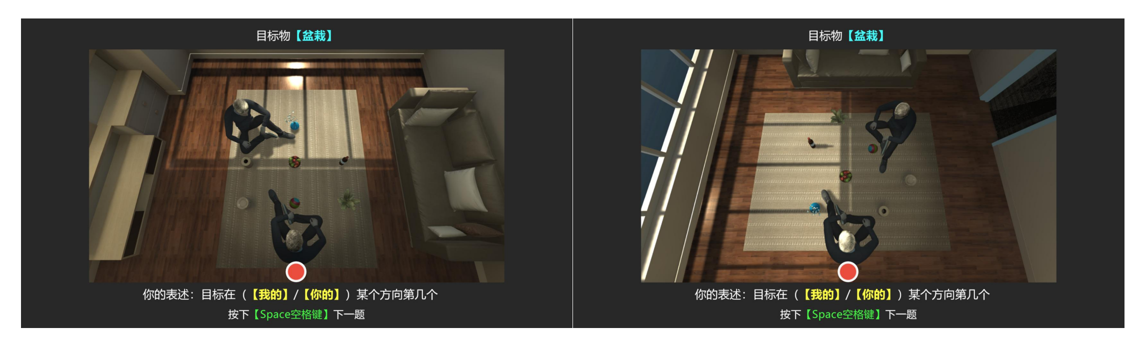


(a)摄像机　　(b)第三人称俯视视角画面

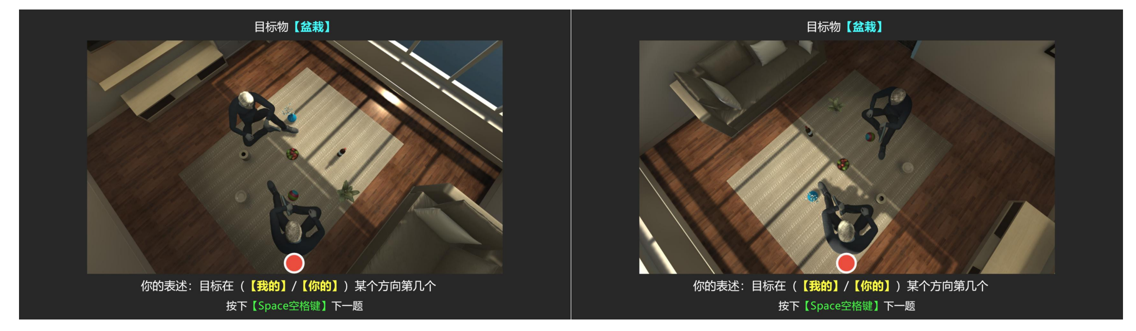
图 8 第三人称俯视视角下通过构建虚拟场景来制作实验材料

2.2.3 实验设计

除了将观察视角变为第三人称俯视视角，其他部分均与实验 1 相同。4 种不同空间线索一致性水平下第三人称俯视视角的空间信息表述任务界面如图 9。



(a)水平 1　　(b)水平 2



(c)水平 3　　(d)水平 4

图 9 第三人称俯视视角下四种空间线索一致性水平对应的信息表述任务场景

2.2.4 实验程序

与实验 1 相同。

2.2.5 结果与分析

(1) 模型构建与数据预处理

拟构建的 GLMM 表达式跟实验 1 相同，见式(1)。按照与实验 1 相同的方法，对 45 名被试的客体视角测验原始分数(M = 164.64, SD = 8.91)、镶嵌图形测验原始分数(M = 16.38, SD = 3.90)进行预处理。之后根据镶嵌图形测验的平均分将被试划分为场独立型（占 57.8%）和场依存型（占 42.2%）且较好地区分了两种场认知风格的被试，$t(43) = 8.99$，$p < 0.001$（双尾），*Cohen's d* = 2.71，95% CI = [4.89, 7.72]。

(2) 参照系选择

参照系选择的结果为自我中心参照系占比为 55.3%，他人中心参照系占比 44.7%。使用与实验 1 相同的方法进行逐步回归模型检验，结果如表 5。

步骤 1 发现空间线索一致性水平的主效应显著，将一致性水平设为哑变量，以水平 1 作为参考进行回归系数检验，发现水平 2 的回归系数显著，$\beta = 0.68$，$t(1256) = 4.16$，$p < 0.001$，$OR = 1.98$，95% CI = [0.36, 1.00]；水平 4 的回归系数显著，$\beta = 0.99$，$t(1256) = 6.03$，$p < 0.001$，$OR = 2.70$，95% CI = [0.67, 1.32]。说明处于水平 2、水平 4 时，被试选择他人参照系的倾向性

分别是水平 1 的 1.98 倍、2.70 倍，结果支持 H1a。两两比较发现，在线索一致性处于水平 1、水平 3 时比水平 2、水平 4 更易让被试产生选择自我中心参照系的倾向。其中，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(1256) = -4.24$，$p < 0.001$，$Cohen's\ d = -0.34$，95% CI = [-0.26, -0.07]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(1256) = -6.27$，$p < 0.001$，$Cohen's\ d = -0.50$，95% CI = [-0.34, -0.14]；水平 3 与水平 2 的差异显著，$t(1256) = -3.12$，$p = 0.006$，$Cohen's\ d = -0.25$，95% CI = [-0.22, 0.03]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(1256) = -5.12$，$p < 0.001$，$Cohen's\ d = -0.41$，95% CI = [-0.30, -0.10]，如图 10。说明第三人称俯视视角下，布局线索支持效应依然存在，但环境线索的支持效应较小或不存在。相比于实验 1 的结果，第三人称俯视视角下各水平之间的差异发生了一定程度的削减，该结果支持了 H4。

表 5 第三人称俯视视角下参照系选择的逐步回归模型摘要($N = 45 \times 28 = 1260$)

响应变量：参照系选择				显著性检验				效应量
模型	准确率	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	66.30%	5420.65	5430.91	3	1256	15.43	< 0.001	0.036
一致性水平				3	1256	15.43	< 0.001	0.036
2	76.70%	6421.39	6431.62	27	1232	8.29	< 0.001	0.154
一致性水平×目标物体				24	1232	8.80	< 0.001	0.145

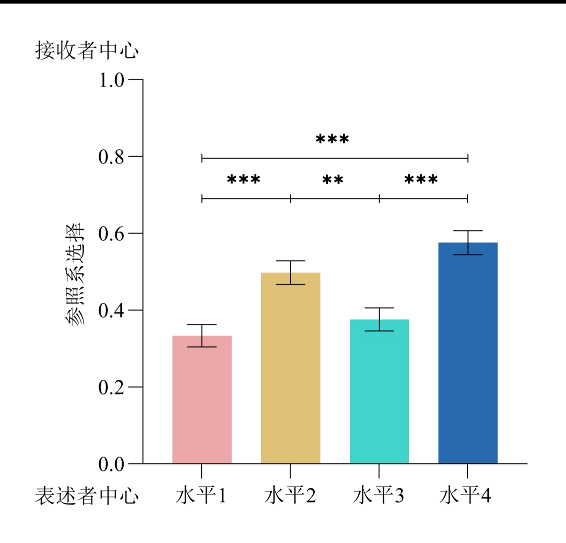


图 10 第三人称俯视视角不同一致性水平下的参照系选择

步骤 2 发现空间线索一致性与目标物体的交互作用显著，说明目标物体所处观察视野中的空间位置能够影响参照系的选择。模型的固定效应中未发现共线性问题，对比两个模型后发现模型 2 具有更高的预测准确率 76.7%（对选择自我中心参照系的预测率为 82.1%，对选择

他人中心参照系的预测率为 70.0%），且协方差参数均显著，*Var* = 0.34（随机截距），*Z* = 2.89，$p = 0.004$，95% CI = [0.17, 0.66]，*Var* = 0.91（残差效应），*Z* = 24.34，$p < 0.001$，95% CI = [0.84, 0.98]。此外，相比于实验 1，实验 2 未发现空间视角转换能力的主效应、以及一致性水平与场认知风格的交互作用显著，这是采用第三人称俯视视角导致的，故而为 H4 提供了证据。

(3) 组织时长

对组织时长($M = 7.72$s, $SD = 6.99$s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(1260) = 0.20$，$p < 0.001$（双尾），使用与实验 1 相同的方法进行逐步回归模型检验，结果如表 6。固定效应中未发现任何自变量的显著效应，只有两个控制变量项的效应显著，模型 2 为最优模型。对比来看，实验 1 中一致性水平的显著效应，未在实验 2 中发现，说明采用第三人称俯视视角能够削弱空间线索对组织时长的影响，该结果支持了 H4。

表 6 第三人称俯视视角下组织时长的逐步回归模型摘要($N = 45 \times 28 = 1260$)

响应变量：组织时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	2225.36	2235.61	6	1253	31.23	<0.001	0.130
目标物体				6	1253	31.23	<0.001	0.130
2	伽马分布	2202.67	2212.90	27	1232	43.90	<0.001	0.490
一致性水平×目标物体				18	1232	3.19	<0.001	0.024
3	正态分布	25074.37	25084.59	27	1232	14.12	<0.001	0.236

(4) 语音时长

对语音时长($M = 3.69$s, $SD = 0.88$s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(1260) = 0.10$，$p < 0.001$（双尾），使用与实验 1 相同的方法进行逐步回归模型检验。结果如表 7，固定效应中各个自变量的效应均不显著，只有两个控制变量项的效应显著，模型 2 为最优模型。综合此前对组织时长的分析后发现，空间视角转换能力和场认知风格对表述绩效没有影响，部分 H3 不成立。

表 7 第三人称俯视视角下语音时长的逐步回归模型摘要($N = 45 \times 28 = 1260$)

响应变量：语音时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	-875.68	-865.42	6	1253	4.91	<0.001	0.023
目标物体				6	1253	4.91	<0.001	0.023
2	伽马分布	-785.86	-775.64	27	1232	8.61	<0.001	0.159

一致性水平×目标物体				21	1232	2.41	<0.001	0.035
3	正态分布	19518.22	19528.45	27	1232	8.73	<0.001	0.161

2.3 实验 1 和实验 2 的数据比较

实验 1 和实验 2 的区别仅在于观察视角，实验设计的其他方面在两个实验中均相同。因此可以将实验 1 和实验 2 的数据结合，增加观察视角（第一人称和第三人称，二分变量）作为新的自变量，形成四因素的混合设计。数据处理上仍与实验 1 相同，使用 GLMM 的逐步回归分析，观察视角的引入顺序为自变量中的最后一个。结果上，主要关注观察视角对各个因变量的主效应是否存在，以及实验 1 和实验 2 中发现的效应在包含两种视角的总体上是否依然显著。而与观察视角相关的交互效应等价于实验 1 和实验 2 中的结果，故不再赘述。

首先，将实验 1 和实验 2 的数据进行混合，共计 98 名被试纳入统计分析，其中女生 63 名，男生 35 名，年龄在 17 到 27 岁之间($M = 19.56$, $SD = 2.17$)。对客体视角测验得分($M = 165.39$, $SD = 8.08$)进行标准化处理，作为衡量空间视角转换能力的指标；镶嵌图形测验平均分($M = 16.80$, $SD = 4.35$)以上为场独立型（占 62.2%），以下为场依存型（占 37.8%），且较好地区分了两种场认知风格的被试，$t(54.36) = 12.12$，$p < 0.001$（双尾），*Cohen's d* = 2.80，95% CI = [6.01, 8.40]。

表 8 参照系选择的逐步回归模型摘要($N = 98 \times 28 = 2744$)

响应变量：参照系选择				显著性检验				效应量
模型	准确率	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	64.00%	11842.45	11854.28	3	2740	54.06	<0.001	0.056
一致性水平				3	2740	54.06	<0.001	0.056
2	64.10%	11849.56	11861.39	4	2739	41.68	<0.001	0.057
视角转换能力				1	2739	5.92	0.015	0.002
3	64.40%	11856.19	11868.01	5	2738	34.26	<0.001	0.059
观察视角				1	2738	5.92	0.015	0.002
4	64.70%	11867.17	11879.00	8	2735	22.44	<0.001	0.062
一致性水平×观察视角				3	2735	3.10	0.026	0.003
5	77.00%	14280.18	14291.99	32	2711	15.85	<0.001	0.158
一致性水平×目标物体				24	2711	18.85	<0.001	0.141

其次，参照系选择的结果为自我中心参照系占比 51.8%，他人参照系占比 48.2%，使用与实验 1 相同的方法进行逐步回归模型检验，结果如表 8。步骤 1 和步骤 2 发现空间一致性水平

和视角转换能力在包含两种视角的总体上主效应仍然显著存在，支持 H1a 和 H2a，遵从“最小合作负荷原则”。步骤 3 发现观察视角的主效应显著，设观察视角为哑变量，以第一人称视角为参考，第三人称俯视视角的回归系数显著，β = -0.26，t(2738) = -2.43，p = 0.015，OR = 0.77，95% CI = [-0.47, -0.05]，二者差异如图 11。这说明第一人称视角下被试选择他人中心参照系的倾向性是第三人称俯视视角的 1.30(1/OR)倍。步骤 4 发现了一致性水平与观察视角的交互作用显著，具体对比实验 1 和实验 2 的结果可知（如图 5 和图 10），采用第三人称俯视视角显著削弱了空间线索对参照系选择的影响，支持 H4。模型 5 为最优模型，具有最高的预测准确率 77.0%（对选择自我中心参照系的预测率为 78.9%，对选择他人中心参照系的预测率为 75.1%）。

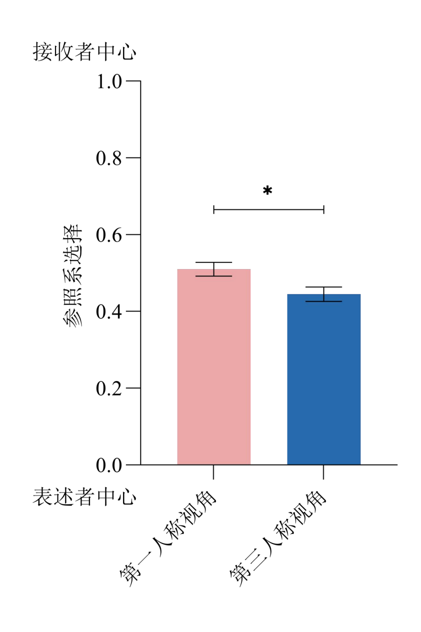


图 11 不同观察视角下的参照系选择

然后，对被试组织时长(M = 7.03s, SD = 5.85s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，D(2744) = 0.19，p < 0.001（双尾）。结果如表 9。步骤 1 发现了一致性水平与观察视角的交互作用显著，支持了 H4，具体见实验 1 与实验 2 的结果部分。模型 2 为最优模型。

表 9 组织时长的逐步回归模型摘要(N = 98 × 28 = 2744)

响应变量：组织时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	$df1$	$df2$	F	p	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	5357.19	5369.01	7	2736	2.85	0.006	0.007
一致性水平×观察视角				7	2736	2.85	0.006	0.007
2	伽马分布	4568.08	4579.90	13	2730	32.20	<0.001	0.133

目标物体				6	2730	54.40	<0.001	0.104
3	正态分布	54423.51	54435.33	13	2730	17.23	<0.001	0.076

最后，对被试语音时长(M = 3.67s, SD = 0.86s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(2744) = 0.10$，$p < 0.001$（双尾）。结果如表 10。步骤 1 发现了在总体上一致性水平和视角转换能力的交互作用显著，但 4 个水平上的视角转换能力回归系数均不显著。结合上述对组织时长的分析，空间视角转换能力和场认知风格对表述绩效没有影响，部分 H3 不成立。模型 1 为最优模型。综上，在两个表述绩效指标上均未发现观察视角的主效应。

表 10 语音时长的逐步回归模型摘要($N = 98 \times 28 = 2744$)

响应变量：语音时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	$df1$	$df2$	F	p	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	-1974.30	-1962.48	4	2739	2.47	0.043	0.004
一致性水平×视角转换能力				4	2739	2.47	0.043	0.004
2	伽马分布	-2013.33	-2001.51	10	2733	5.30	<0.001	0.019
目标物体				6	2733	7.51	<0.001	0.016
3	正态分布	42981.78	42993.60	10	2733	4.80	<0.001	0.017

3 研究二：接收过程的影响机制

3.1 实验 3：第一人称视角下接收过程的影响机制

探讨第一人称视角下空间线索一致性、空间视角转换能力、场认知风格以及语句参照系对接收者理解效率的影响。

3.1.1 被试

使用与实验 1 相同的估算方法，预测变量的数量设置为 9（即式(2)中固定效应的数量），计算出被试量至少为 41 人。本实验共招募 59 名健康大学生被试，其中有 1 名被试未能完成两项测验；1 名被试准确率仅为 0.44，远低于通过练习阶段的正确率要求；1 名被试重复招募，去除无效数据后，最终有 56 名被试的数据纳入统计分析，其中女生 37 名，男生 19 名，年龄在 17 到 25 岁之间(M = 19.16, SD = 1.72)，被试均为右利手，视力或矫正视力正常，此前均未参加过与本研究相关的其他实验。

3.1.2 实验器材与材料

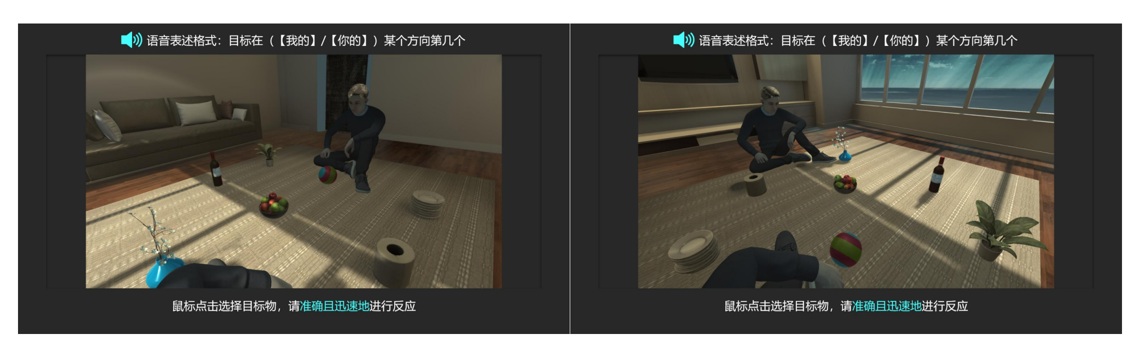
实验仪器等硬件、设计程序所用软件、纸笔测验均与实验 1 相同。由于实验 3 需要被试完成第一人称视角下空间信息接收任务，所以虚拟场景的构建与实验 1 相同，将摄像机放置

在接收者眼睛的位置，摄像机捕捉画面的设置参数与实验 1 相同，捕捉到的画面截图为实验任务的刺激材料。

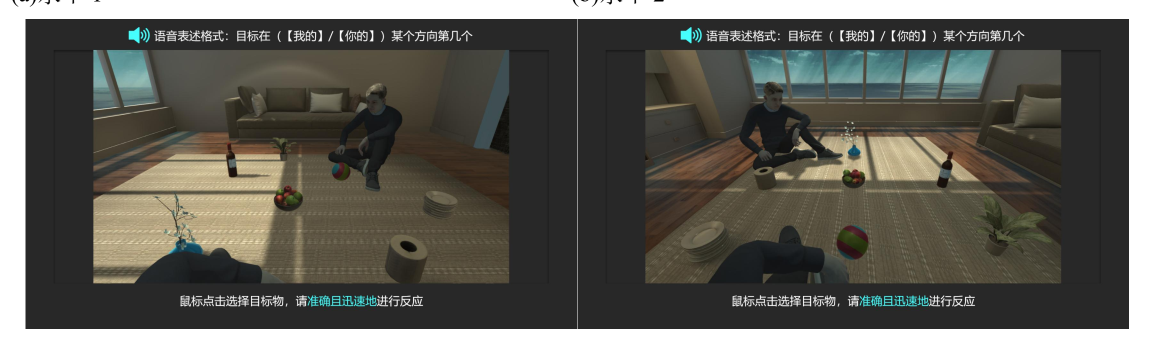
实验中被试作为接收者需要接收并根据空间信息寻找目标位置，表述者的语音通过布谷鸟配音软件 2.2 版本智能合成，使用“艾楠/广告男声”作为声源，音量设置为 8，语调和语速设置为默认水平，合成音频前后各加入 0.5 秒的空白时间，防止程序卡顿等原因造成部分声音信息丢失、音画不同步等问题。语音刺激材料中的语句包含原点、方位、距离三个元素，如“目标在我的右前方第一个”，均为 11 个字，音频格式为 mp3，采样率为 16000Hz，时长为 2.055s。

3.1.3 实验设计

实验 3 为四因素混合设计，比实验 1 多出 1 个变量，即语句参照系（模拟语音中“表述者”所选的语句参照系，被试内变量，共两个水平：表述者参照系和接收者参照系），其他 3 个自变量均与实验 1 相同。将实验 1 的 28 个试次复制一遍，原本和副本分别使用表述者参照系和接收者参照系的表述语音作为音频刺激，故而构成了 56 个正式试次。因变量为理解正确性（二分变量，被试理解表述语句后选择目标的正确与否）和理解时长（连续变量，每个试次从刺激呈现到被试做出选择的时长）。控制其他影响因素的方法与实验一相同。第一人称视角下 4 种空间线索一致性水平对应的空间信息接收任务场景如图 12。



(a)水平 1　　(b)水平 2



(e)水平 3　　(d)水平 4

图 12 第一人称视角下四种空间线索一致性水平对应的信息接收任务场景

3.1.4 实验程序

被试先进行两项纸笔测验，然后在电脑上进行第一人称视角下的空间信息接收任务。如图 13，任务开始后先给被试呈现指导语和反应要求，告知被试想象自己作为空间信息传递中的接收者，面对的虚拟人物是被试的表述者搭档，被试需要理解表述语音并找出目标为阵列中的哪一个物体。试次中，首先会在任务窗口靠上的位置呈现一个 2s 的注视点“+”，随后会呈现场景刺激，同时播放一遍表述语音，被试需要根据语音中的空间信息尽可能准确和迅速地找出目标物，并使用鼠标点击对应物体进行反应。反应结束后进入下一任务试次，每一个试次限时 10s，如果被试没有在 10s 内做出反应，自动进入下一试次，并将被试本次反应记录为错误。被试需要先完成 8 个练习试次从而熟悉实验过程，练习任务的正确率需达到 60%以上才能进入正式实验，正式实验包含 56 个试次（试次的呈现顺序是随机的），整个实验共需 40 分钟左右。

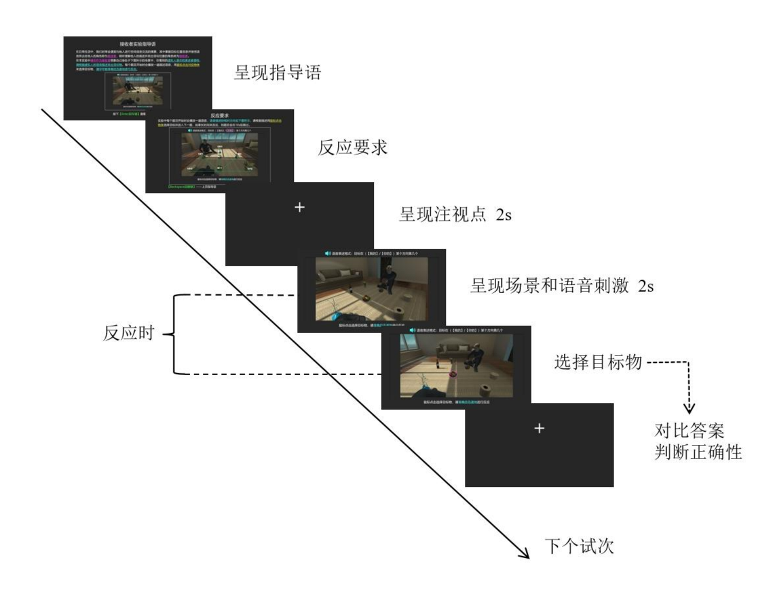


图 13 实验 3 流程图

3.1.5 结果与分析

(1) 模型构建与数据预处理

本实验拟构建的 GLMM 如式(2)。其中，Y_{ijlk} 是被试 i 在水平 j 语句参照系 l 目标物体 k 的试次上的反应结果，即因变量测量值；X_1 是一致性水平的哑变量矩阵，X_2 是语句参照系，X_3 是空间视角转换能力，X_4 是场认知风格，X_5 是目标物体编号的哑变量矩阵；其余参数含义与式(1)相同。

$$
\underbrace{g\left(E\left[Y_{ijlk}\right]\right)}_{\text{线性预测子}} = \underbrace{\beta_0}_{\text{截距}} + \underbrace{X_{1j}\beta_{1j} + X_{2l}\beta_2 + X_{3i}\beta_3 + X_{4i}\beta_4}_{\text{固定效应中的主效应}} + \underbrace{X_{1j}X_{2l}\beta_{5jl} + X_{1j}X_{3i}\beta_{6j} + X_{1j}X_{4i}\beta_{7ji}}_{\text{固定效应中的交互效应}} + \underbrace{X_{5k}\beta_{8k} + X_{1j}X_{5k}\beta_{9jk}}_{\text{固定效应中的控制变量效应}} + \underbrace{u_i}_{\text{随机效应（个体随机截距）}} \tag{2}
$$

对 56 名被试的客体视角测验原始分数(M = 166.00, SD = 7.31)、镶嵌图形测验原始分数(M = 17.22, SD = 4.60)进行预处理，方法与实验 1 相同。之后根据镶嵌图形测验的平均分将被试划分为场独立型（占 58.9%）和场依存型（占 41.1%）并对两种场认知风格被试的原始分进行独立样本 t 检验，$t(29.65) = 7.95$，$p < 0.001$（双尾），*Cohen's d* = 2.41，95% CI = [5.30, 8.96]，说明较好地区分了两种场认知风格的被试。

(2) 理解正确性

第一人称视角下接收者理解正确性的平均值为 84.2%，除变量不同之外，逐步回归模型检验的方法基本同实验 1，固定效应变量按照式(2)中前后顺序依次引入，随机效应设为代表个体语言理解能力的随机截距，结果如表 11。

表 11 第一人称视角下接收者理解正确性的逐步回归模型摘要(N = 56 × 56 = 3136)

响应变量：理解正确性				显著性检验				效应量
模型	准确率	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	84.20%	15984.50	15996.59	7	3128	27.01	<0.001	0.057
一致性水平×语句参照系				7	3128	27.01	<0.001	0.057
2	90.30%	19743.10	19755.19	13	3122	28.22	<0.001	0.105
目标物体				6	3122	43.34	<0.001	0.075

步骤 1 发现线索一致性水平与表述语句参照系的交互作用显著。使用 Sidak 法对两种参照系语句在不同一致性水平下的理解正确性进行两两比较，结果发现在任一语句参照系条件下，除了在水平 1 与水平 3、水平 2 与水平 4 的理解正确性没有显著差异，其他水平之间的差异均显著。其中，当语句使用表述者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(3128) = 6.40$，*Cohen's d* = 0.46，95% CI = [0.10, 0.23]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(3128) = 6.47$，*Cohen's d* = 0.46，95% CI = [0.10, 0.24]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(3128) = -6.06$，*Cohen's d* = -0.43，95% CI = [-0.22, -0.10]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(3128) = 6.13$，*Cohen's d* = 0.44，95% CI = [0.09, 0.22]，$ps < 0.001$。当语句使用接收者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(3128) = -6.37$，

Cohen's d = -0.46，95% CI = [-0.22, -0.09]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(3128) = -6.28$，*Cohen's d* = -0.45，95% CI = [-0.21, -0.10]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(3128) = 6.81$，*Cohen's d* = 0.49，95% CI = [0.11, 0.24]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(3128) = -6.73$，*Cohen's d* = -0.48，95% CI = [-0.24, -0.11]，$ps < 0.001$，如图 14。进一步在不同一致性水平下对两种参照系语句的理解正确性进行两两比较，结果发现在任一水平下，接收者对两种参照系语句的理解正确性都存在显著差异。其中，处于水平 1 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(3128) = -5.65$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.40，95% CI = [-0.19, -0.09]；处于水平 2 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(3128) = 7.05$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.50，95% CI = [0.13, 0.23]；处于水平 3 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(3128) = -5.78$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.41，95% CI = [-0.20, -0.10]；处于水平 4 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(3128) = 7.03$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.50，95% CI = [0.13, 0.24]。说明接收过程中存在多空间线索支持效应，支持 H1b，即在第一人称视角下，表述语句的参照系受空间线索的支持越多，接收者越容易理解，且集中表现在布局线索的支持效应上，环境线索的支持效应较小或不存在。

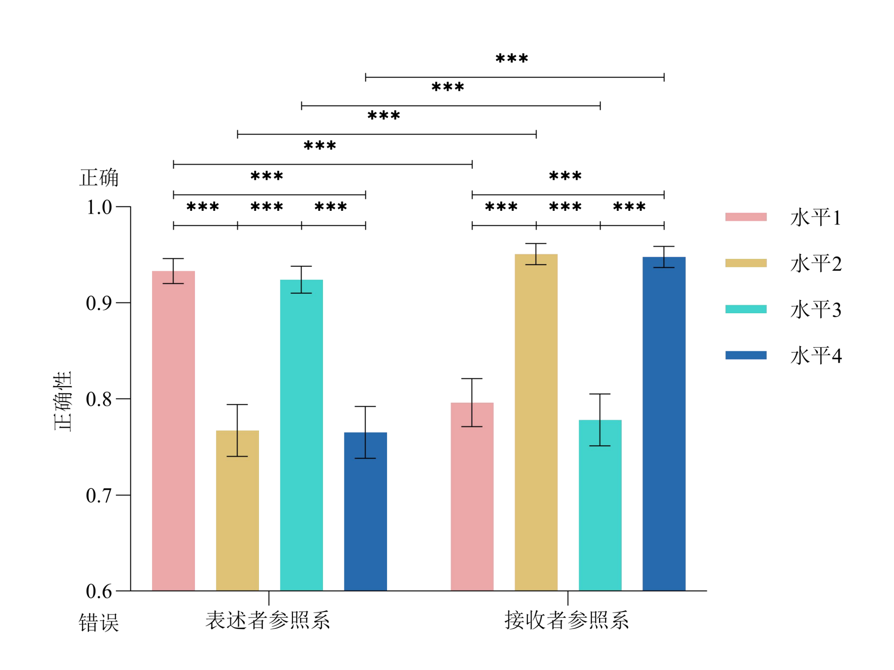


图 14 第一人称视角不同空间线索一致性水平下对两种参照系表述语句的理解正确性

步骤 2 发现固定效应中控制变量目标物体的主效应显著，说明目标物体所处阵列中的相对位置对理解正确性存在显著影响。模型 2 具有最高的预测准确率为 90.3%（对正确判断的预测准确率为 97.6%，对错误判断的预测准确率为 51.5%），且协方差参数均显著，*Var* = 0.88

（随机截距），$Z = 3.80$，95% CI = [0.52, 1.47]，$Var = 1.17$（残差效应），$Z = 39.11$，95% CI = [1.11, 1.23]，$ps < 0.001$。

(3) **理解时长**

对理解时长($M = 3.25$s, $SD = 1.33$s)进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(3136) = 0.16$，$p < 0.001$（双尾），使用与实验 1 中分析组织时长相同的方法进行逐步回归模型检验。结果如表 12，逐步回归进行了 5 步，其中模型 4 的拟合度最好，在模型 4 的基础上改用正态分布假设建立模型 6。

表 12 第一人称视角下理解时长的逐步回归模型摘要($N = 56 \times 56 = 3136$)

响应变量：理解时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	2372.99	2385.09	1	3134	59.52	<0.001	0.019
语句参照系				1	3134	59.52	<0.001	0.019
2	伽马分布	2374.34	2386.44	2	3133	33.19	<0.001	0.021
视角转换能力				1	3133	6.99	0.008	0.002
3	伽马分布	2278.08	2290.17	8	3127	22.73	<0.001	0.055
一致性水平×语句参照系				6	3127	15.17	<0.001	0.028
4	伽马分布	1731.40	1743.48	14	3121	32.33	<0.001	0.127
目标物体				6	3121	62.00	<0.001	0.104
5	伽马分布	1756.06	1768.13	32	3103	27.15	<0.001	0.219
一致性水平×目标物体				18	3103	4.70	<0.001	0.021
6[a]	正态分布	52831.08	52843.17	14	3121	25.00	<0.001	0.101

a. 模型 6 基于模型 4 的设计矩阵

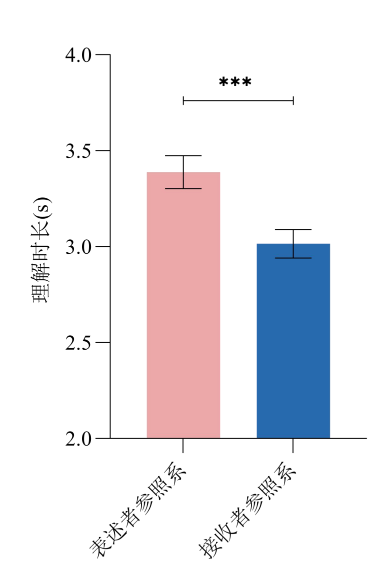


图 15 第一人称视角下对不同表述参照系语句的理解时长

步骤 1 发现表述语句参照系的主效应显著，将其设置为哑变量，以表述者参照系作为参考进行回归系数检验，发现接收者参照系的回归系数显著，$\beta = -0.12$，$t(3134) = -7.72$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.28，95% CI = [-0.15, -0.09]。说明相比于使用表述者参照系，表述语句在使用接收者参照系时会更快速地被接收者理解，二者差异如图 15。

步骤 2 发现空间视角转换能力的主效应显著。空间视角转换能力的回归系数显著，$\beta = -0.06$，$t(3133) = -2.64$，$p = 0.008$，*Cohen's d* = -0.07，95% CI = [-0.10, -0.01]，说明被试的空间视角转换能力每升高 1 个标准差，对语句理解的反应时缩短 56ms，说明高空间视角转换能力能够缩短理解时长，部分支持了 H3a。

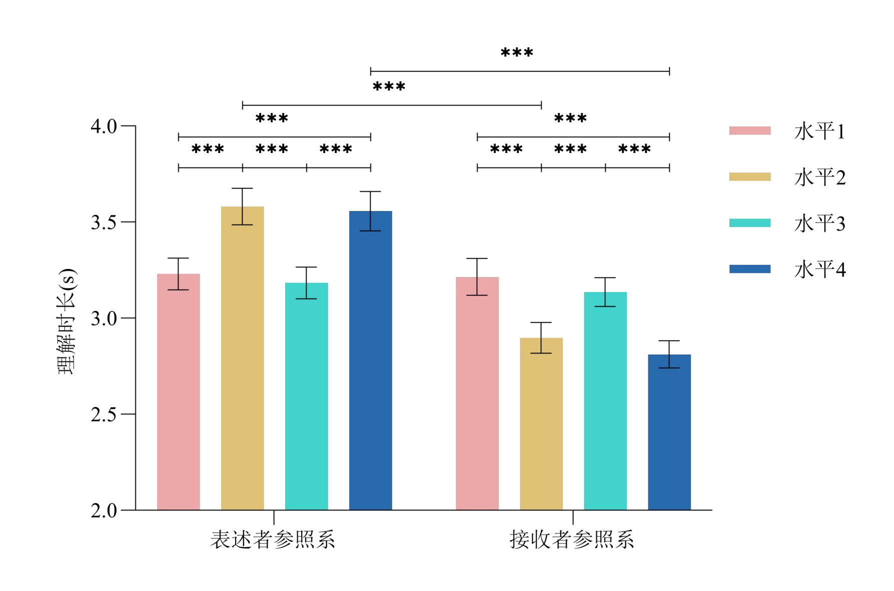


图 16 第一人称视角不同空间线索一致性水平下对两种参照系表述语句的理解时长

步骤 3 发现空间线索一致性水平与语句参照系的交互作用显著。使用 Sidak 法对两种参照系语句在不同一致性水平下的理解时长进行两两比较，结果发现任一语句参照系条件下，除了水平 1 与水平 3、水平 2 与水平 4 差异不显著，其他水平之间的差异均显著。其中，当语句使用表述者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(3127) = -5.03$，*Cohen's d* = -0.36，95% CI = [-525.38, -177.44]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(3127) = -4.49$，*Cohen's d* = -0.32，95% CI = [-501.27, 153.25]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(3127) = 5.33$，*Cohen's d* = 0.38，95% CI = [201.52, 594.64]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(3127) = -5.25$，*Cohen's d* = -0.38，95% CI = [-556.96, -190.89]，$ps < 0.001$。当语句使用接收者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(3127) = 4.61$，*Cohen's d* = 0.33，95% CI = [145.30, 488.16]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(3127) = 5.71$，*Cohen's d* = 0.41，95% CI = [217.14, 589.04]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(3127) = -4.04$，*Cohen's d* = -0.29，95% CI = [-379.01, -97.14]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(3127) = 5.70$，*Cohen's d* = 0.41，95% CI = [175.21, 473.65]，$ps < 0.001$，如图 16。进一步在不同一致性水平下对两种参照系语句的理解时长进行两两比较，结果发现在水平 2 和水平 4 时，理解时长存在显著差异。其中，处于水平 2 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(3127) = -9.44$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.67，95% CI = [-825.38, -541.46]；处于水平 4 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(3127) = -9.34$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.67，95% CI = [-902.17, -589.07]。而处于水平 1 和水平 3 时，理解时长不存在显著差异，说明布局线索对表述者参照系的支持效应在一定程度上抵消掉了语句参照系与视角冲突导致的理解困难。综上说明在第一人称视角下语句参照系所受空间线索的支持越多，理解语句所需的时间越短，支持 H1b，且主要体现在布局线索的支持效应上，环境线索的支持效应较小或不存在。

步骤 4 和步骤 5 在固定效应中逐步引入了控制变量目标物体的主效应项以及线索一致性与目标物体的交互项，说明目标物体所处空间位置能够影响接收者的理解时长。之后通过对比模型 4、模型 5 以及模型 6，发现模型 4 的 AICC 和 BIC 值最小，且协方差参数均显著，*Var* = 0.03（随机截距），$Z = 4.89$，95% CI = [0.02, 0.04]，*Var* = 0.09（残差效应），$Z = 39.16$，95% CI = [0.09, 0.10]，$ps < 0.001$，说明模型 4 为最优模型。此外，综合分析理解正确性和理解时长两个指标后，均未发现支持 H3b 的证据。

3.2 实验 4：第三人称视角下接收过程的影响机制

探讨第三人称俯视视角下，空间线索一致性、空间视角转换能力、场认知风格和语句参

照系对接收者理解效率的影响。

3.2.1 被试

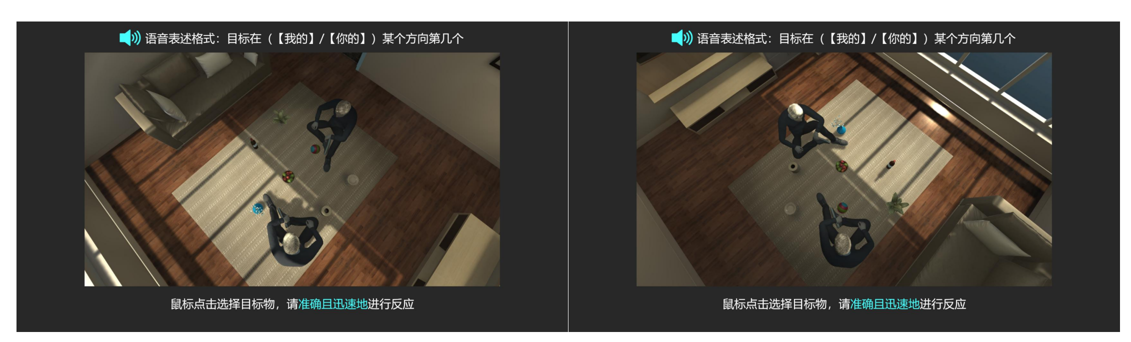
通过与实验 1 相同估算方法计算出被试量至少为 41 人。本实验共招募 48 名健康大学生被试，其中有 2 名被试未能完成实验任务；1 名被试在多次指导后仍无法掌握言语规则；1 名被试的反应准确率为 0.37，远低于练习阶段正确率的要求，去除无效数据后，最终有 44 名被试的数据纳入统计分析，其中女生 26 名，男生 18 名，年龄在 17 到 27 岁之间(M = 20.02, SD = 2.63)，被试均为右利手，视力或矫正视力正常，此前均未参加过与本研究相关的其他实验。

3.2.2 实验器材与材料

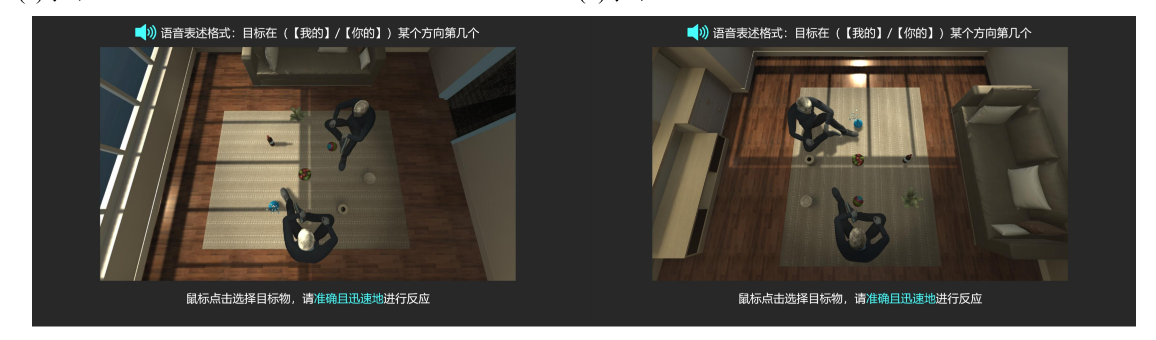
实验仪器等硬件、设计程序所用软件、纸笔测验均与实验 1 相同。虚拟场景的构建与实验 1 相同，由于实验 4 需要被试完成在第三人称俯视视角下接收信息的任务，所以将摄像机放置在接收者上方适宜高度，摄像机捕捉画面时设置的参数同实验 2 相同，以捕捉到的画面截图为实验任务的刺激材料。

3.2.3 实验设计

除了将观察视角变为第三人称俯视视角，其他部分均与实验 3 相同。第三人称俯视视角下 4 种空间线索一致性水平对应的空间信息接收任务场景如图 17。



(a)水平 1　　(b)水平 2



(c)水平 3　　(d)水平 4

图 17 第三人称俯视视角下四种空间线索一致性水平对应的信息接收任务场景

3.2.4 实验程序

实验流程同实验 3。

3.2.5 结果与分析

(1) 模型构建与数据预处理

拟构建的 GLMM 表达式同实验 3。对 44 名被试的客体视角测验原始分数(M = 164.84, SD = 8.51)、镶嵌图形测验原始分数(M = 16.35, SD = 3.90)进行预处理，方法与实验 1 相同。之后根据镶嵌图形测验的平均分将被试划分为场独立型（占 59.1%）和场依存型（占 40.9%）且较好地区分了两种场认知风格的被试，$t(42) = 8.87$，$p < 0.001$（双尾），*Cohen's d* = 2.72，95% CI = [4.89, 7.77]。

(2) 理解正确性

第三人称俯视视角下接收者理解正确性的平均值为 82.2%，逐步回归检验方法同实验 3，结果如表 13。

表 13 第三人称俯视视角下理解正确性的逐步回归模型摘要($N = 44 \times 56 = 2464$)

响应变量：理解正确性				显著性检验				效应量
模型	准确率	AICC	BIC	$df1$	$df2$	F	p	R^2/偏 R^2
1	82.40%	12447.77	12459.38	7	2456	10.38	<0.001	0.029
一致性水平×语句参照系				7	2456	10.38	<0.001	0.029
2	87.50%	14904.66	14916.26	13	2450	19.17	<0.001	0.092
目标物体				6	2450	35.21	<0.001	0.078

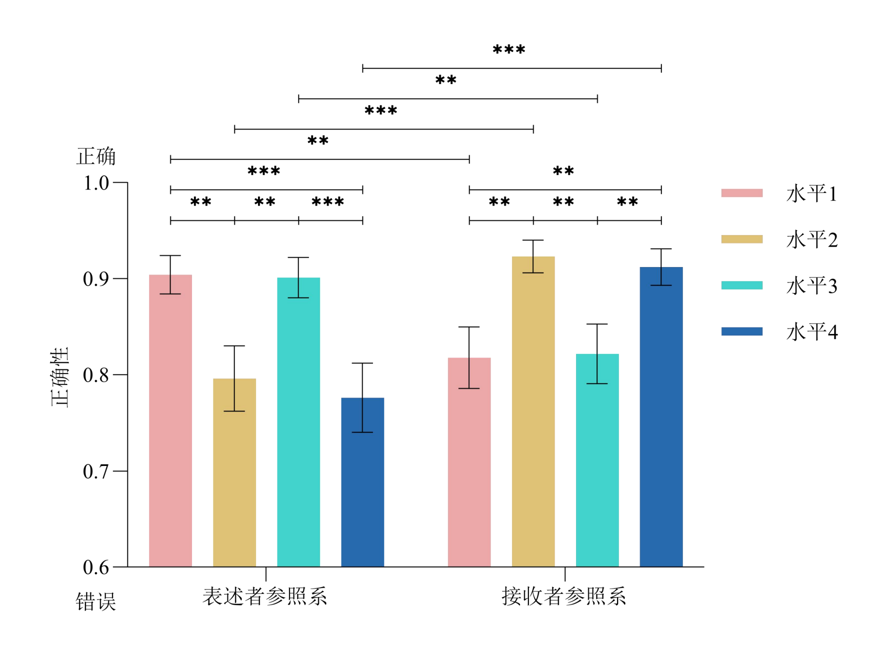


图 18 第三人称俯视视角不同空间线索一致性水平下对两种参照系表述语句的理解正确性

步骤 1 发现空间线索一致性与语句参照系的交互作用显著。使用 Sidak 法对两种表述参照系条件下不同一致性水平语句的理解正确性进行两两比较，发现任一语句参照系条件下，除了水平 1 与水平 3、水平 2 与水平 4 之间的差异不显著，其他水平之间的差异均显著。其中，当语句使用表述者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(2456) = 3.75$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = 0.30，95% CI = [0.04, 0.18]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = 4.21$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.34，95% CI = [0.05, 0.21]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(2456) = -3.66$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = -0.30，95% CI = [-0.17, -0.04]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = 4.13$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.33，95% CI = [0.05, 0.20]。当语句使用接受者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(2456) = -3.84$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = -0.31，95% CI = [-0.18, -0.03]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = -3.47$，$p = 0.002$，*Cohen's d* = -0.28，95% CI = [-0.16, -0.03]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(2456) = 3.76$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = 0.30，95% CI = [0.03, 0.17]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = -3.38$，$p = 0.002$，*Cohen's d* = -0.27，95% CI = [-0.16, -0.03]，如图 18。进一步在不同一致性水平下对两种表述参照系语句的理解正确性进行差异检验，发现在任一水平下，接收者对两种参照系语句的理解正确性存在显著差异。其中，处于水平 1 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(2456) = -3.17$，$p = 0.002$，*Cohen's d* = -0.26，95% CI = [-0.14, -0.03]；处于水平 2 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(2456) = 4.35$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.35，95% CI = [0.07, 0.18]；处于水平 3 时，接收者参

照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(2456) = -2.98$，$p = 0.003$，*Cohen's d* = -0.24，95% CI = [-0.13, -0.03]；处于水平 4 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(2456) = 4.45$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.36，95% CI = [0.08, 0.20]。说明第三人称俯视视角下，语句参照系所受空间线索的支持越多越容易理解，支持 H1b，且主要体现为布局线索的支持效应，环境线索的支持效应较小或不存在。

步骤 2 发现控制变量目标物体的主效应显著，说明目标物体所处阵列中的相对位置能够影响第三人称俯视视角下接收者的理解正确性。模型 2 具有最高的准确率为 87.5%（对正确判断的预测准确率为 96.2%，对错误判断的预测准确率为 47.3%），且协方差参数均显著，*Var* = 1.50（随机截距），$Z = 3.71$，95% CI = [0.88, 2.55]，*Var* = 1.17（残差效应），$Z = 34.65$，95% CI = [1.10, 1.23]，$ps < 0.001$。

(3) **理解时长**

对理解时长($M = 3.05$s, $SD = 1.12$s)的数据进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(2464) = 0.16$，$p < 0.001$（双尾），选用与实验 3 相同的方法进行逐步回归检验，结果如表 14。

步骤 1 发现语句参照系的主效应显著。将语句参照系设置为哑变量，以表述者参照系为参考进行回归系数检验，发现接收者参照系的回归系数显著，$\beta = -0.11$，$t(2462) = -8.82$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.36，95% CI = [-0.13, -0.08]，说明当表述语句使用接收者参照系时接收者的理解时长更短，差异如图 19。

表 14 第三人称俯视视角下理解时长的逐步回归模型摘要($N = 44 \times 56 = 2464$)

响应变量：理解时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	1357.95	1369.56	1	2462	77.73	<0.001	0.031
语句参照系				1	2462	77.73	<0.001	0.031
2	伽马分布	1315.50	1327.11	7	2456	15.97	<0.001	0.044
一致性水平×语句参照系				6	2456	8.98	<0.001	0.021
3	伽马分布	802.60	814.21	13	2450	20.43	<0.001	0.098
目标物体				6	2450	35.60	<0.001	0.079
4	伽马分布	832.06	843.65	31	2432	21.99	<0.001	0.219
一致性水平×目标物体				18	2432	5.61	<0.001	0.032
5[a]	正态分布	40639.02	40650.62	13	2450	13.71	<0.001	0.068

a. 模型 5 基于模型 3 的设计矩阵

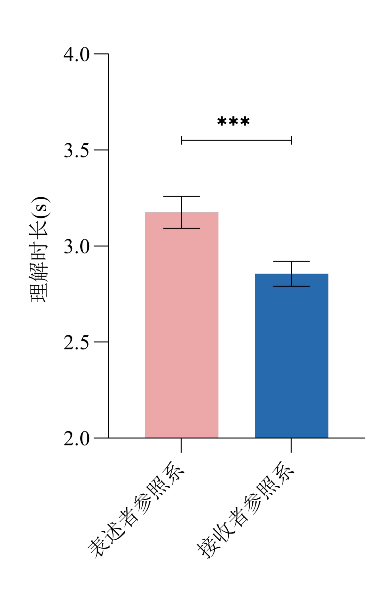


图 19 第三人称俯视视角下不同参照系表述语句的理解时长

步骤 2 发现空间线索一致性与语句参照系的交互作用显著。使用 Sidak 法对两种参照系语句在不同一致性水平下的理解时长进行两两比较，结果发现，除了水平 1 与水平 3、水平 2 与水平 4 之间的差异不显著，其他水平之间的差异均显著。其中，当语句使用表述者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(2456) = -4.83$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.39，95% CI = [-381.15, -112.29]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = -3.80$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = -0.31，95% CI = [-397.07, -76.41]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(2456) = 3.38$，$p = 0.003$，*Cohen's d* = 0.27，95% CI = [56.34, 374.80]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = -2.86$，$p = 0.013$，*Cohen's d* = -0.23，95% CI = [-377.26, -33.93]。当语句使用接受者参照系时，水平 1 与水平 2 的差异显著，$t(2456) = 4.77$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = 0.38，95% CI = [127.31, 441.83]；水平 1 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = 3.85$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = 0.31，95% CI = [84.44, 423.00]；水平 2 与水平 3 的差异显著，$t(2456) = -3.71$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = -0.30，95% CI = [-459.55, -99.26]；水平 3 与水平 4 的差异显著，$t(2456) = 3.85$，$p = 0.001$，*Cohen's d* = 0.31，95% CI = [82.59, 414.51]，如图 20。进一步在不同一致性水平下对两种参照系语句的理解时长进行两两比较，结果发现在水平 2 和水平 4 时，理解时长存在显著差异。其中，处于水平 2 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(2456) = -7.64$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.62，95% CI = [-737.20, -435.92]；处于水平 4 时，接收者参照系语句与表述者参照系语句的差异显著，$t(2456) = -7.59$，$p < 0.001$，*Cohen's d* = -0.61，95% CI = [-686.76, -404.70]。说明在第三人称俯视视角下，使用

多个空间线索共同支持的参照系有利于提高理解效率，支持 H1b。

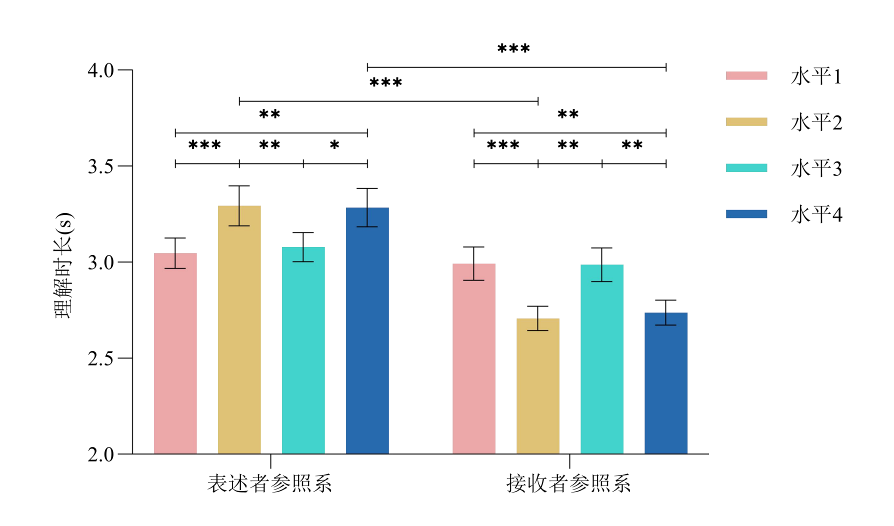


图 20 第三人称俯视视角不同空间线索一致性水平下对两种参照系表述语句的理解时长

步骤 3 和步骤 4 发现两个控制变量的效应显著，说明目标物体所处空间位置对理解时长存在显著影响。模型 3 对数据的拟合度最优，协方差参数均显著，$Var = 0.02$（随机截距），$Z = 4.37$，95% CI = [0.01, 0.04]，$Var = 0.08$（残差效应），$Z = 34.69$，95% CI = [0.07, 0.08]，$ps < 0.001$。此外，与实验 3 相比较，实验 4 未发现空间视角转换能力的主效应显著，这说明采用第三人称俯视视角导致了该效应的削弱，支持 H4。综合此前对理解正确性的分析后发现，空间视角转换能力和场认知风格对理解绩效没有影响，部分 H3 不成立。

3.3 实验 3 和实验 4 的数据比较

类似于实验 1 与实验 2 的数据比较，将实验 3 和实验 4 的数据结合，形成五因素的混合设计，新增自变量观察视角。使用与实验 3 相同的数据处理方法，进行 GLMM 的逐步回归分析，观察视角的引入顺序为自变量中的最后一个。

首先，将实验 3 和实验 4 的数据进行混合，共计 100 名被试纳入统计分析，其中女生 63 名，男生 37 名，年龄在 17 到 27 岁之间($M = 19.54$, $SD = 2.20$)。对客体视角测验得分($M = 165.49$, $SD = 7.84$)进行标准化处理，作为衡量空间视角转换能力的指标；镶嵌图形测验平均分($M = 16.84$, $SD = 4.30$)以上为场独立型（占 64.0%），以下为场依存型（占 36.0%），且较好地区分了两种场认知风格的被试，$t(51.85) = 12.01$，$p < 0.001$（双尾），*Cohen's* $d = 2.81$，95% CI = [5.99, 8.40]。

然后，接收者理解正确率为 83.3%，使用与实验 3 相同的方法进行逐步回归模型检验，结果如表 15。步骤 1 和步骤 2 发现语句参照系的主效应、一致性水平与语句参照系的交互效应

在总体上依然显著存在，支持 H1b。模型 3 为最优模型，具有最高的预测准确率 88.7%（对正确判断的预测准确率为 97.2%，对错误判断的预测准确率为 46.6%）。

表 15 理解正确性的逐步回归模型摘要($N = 100 \times 56 = 5600$)

响应变量：理解正确性				显著性检验				效应量
模型	准确率	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	83.30%	27666.65	27679.91	1	5598	6.83	0.009	0.001
语句参照系				1	5598	6.83	0.009	0.001
2	83.40%	28341.70	28354.95	7	5592	36.56	<0.001	0.044
一致性水平×语句参照系				6	5592	41.84	<0.001	0.043
3	88.70%	34468.34	34481.60	13	5586	46.05	<0.001	0.097
目标物体				6	5586	76.45	<0.001	0.074

最后，对理解时长($M = 3.17$s, $SD = 1.25$s)的数据进行 K-S 检验，发现其数据形态呈正偏态，$D(5600) = 0.16$，$p < 0.001$（双尾）。结果如表 16。步骤 1 和步骤 2 发现语句参照系的主效应、一致性水平与语句参照系的交互效应在总体上依然显著存在，支持 H1b。模型 3 为最优模型。综上，在两个接收绩效指标上均未发现观察视角的主效应，也未在总体上发现支持 H3 的结果。

表 16 理解时长的逐步回归模型摘要($N = 100 \times 56 = 5600$)

响应变量：理解时长				显著性检验				效应量
模型	分布假设	AICC	BIC	*df1*	*df2*	*F*	*p*	R^2/偏 R^2
1	伽马分布	3750.29	3763.55	1	5598	125.33	<0.001	0.022
语句参照系				1	5598	125.33	<0.001	0.022
2	伽马分布	3588.63	3601.89	7	5592	34.92	<0.001	0.042
一致性水平×语句参照系				6	5592	20.50	<0.001	0.021
3	伽马分布	2520.44	2533.70	13	5586	48.90	<0.001	0.102
目标物体				6	5586	94.51	<0.001	0.091
4	伽马分布	2543.86	2557.11	31	5568	26.06	<0.001	0.127
一致性水平×目标物体				18	5568	5.16	<0.001	0.015
5[a]	正态分布	93733.30	93746 55	13	5586	35.73	<0.001	0.077

a. 模型 5 基于模型 3 的设计矩阵

4 讨论

4.1 空间线索的支持效应

本研究发现当某个参照系受多个空间线索支持时，表述者会倾向于使用该参照系进行表

述且表述效率更高，接收者对相应语句的理解效率更高，H1 基本成立。具体来讲，在表述过程中，当布局线索、环境线索与表述者参照系一致时，表述者更倾向于使用自我中心参照系；与接收者参照系一致时，则更倾向于使用他人中心参照系。而且，两种高一致性水平条件下的组织时长相比于低一致性水平，出现了显著缩短或缩短的趋势。也就是说，在“既快速又准确”的合作任务要求下，表述者会认为使用多空间线索所支持的参照系进行表述最利于接受者搭档的理解，是最小化合作双方努力的最佳方案。而本研究在表述和接收效率方面的研究结果也证实了这一点，这与 Galati 和 Avraamides(2015)的研究发现相一致，也符合“最小合作负荷原则”。所以，本研究认为以高一致性的空间线索作为表述参照系的选择标准是接收者和表述者在空间语言交互过程中实现“最小合作负荷原则”的默认交互策略。这是因为低一致性水平比高一致水平条件下各类空间线索之间存在更多冲突，而比起加工彼此冲突的空间信息，人们更擅长加工彼此相容的空间信息(Enticott et al., 2006)。

本研究首次对比了布局线索与环境线索的权重，发现二者冲突时前者的支持效应占主导地位，即表述者更倾向于选择布局线索支持的参照系，接收者更容易理解相应的语句。原因有两个，一方面，客体的空间近邻性会引发知觉优先性。根据拓扑性质知觉理论，近邻性的组织会触发知觉系统抽提空间拓扑性的功能(Chen, 1982, 2005; 陈霖, 1984)，因此目标和阵列中其他物体因相邻性、排列规律性等产生的空间拓扑性给目标与阵列赋予了特殊且稳定的空间关系，这是目标与环境线索之间不具备的。例如，教室内第一排的桌椅，桌椅与第一排之间既存在归属关系，也存在与布局相关的拓扑性空间关系，而桌椅与教室只存在归属关系。另一方面，表述者组织空间语言之前需要生成对参照系的表征，阵列内物体的近邻性有利于表述者借助目标所在阵列的内在轴表征空间坐标系，排列的规律性有利于表征坐标系刻度，从而对物体空间位置进行更为准确的描述，但环境线索没有这种优势。例如，军训方队内的学生能根据彼此的间隔描述自己位于第几排第几列，但很难准确描述自己具体位于操场的哪个位置。布局线索对接收过程的重要性则显而易见，因为与表述过程中自下而上的加工不同，接收过程是根据已知空间语言自上而下进行目标搜索和信息匹配的过程，布局线索支持的语句参照系能够引导接收者更快建立刻度明确的空间参照系，降低目标搜索和信息匹配所需的认知努力，提高理解效率。

4.2 空间视角转换能力和表述语句参照系的影响

本研究发现高空间视角转换能力的表述者总体上倾向于选择他人中心参照系，结果支持

H2a；在第一人称视角下，高能力接收者能更快地理解空间语言，结果支持 H3a。这是因为高能力表述者能更快地完成空间视角转换的心理过程，更准确地表征接收者视角的空间信息，且不会因此承担太大的认知负荷(张琪, 2017)。另外，“最小合作负荷原则”的基础是表述者与接收者会对彼此在空间语言交互中的认知努力、空间线索等做出评价与反馈(Clark & Wikes-Gibbs, 1986; Clark, 1996)。所以，为提高交互效率，高能力表述者通常会以主动承担的方式帮助接收者规避空间视角转换所需的认知努力。其次，当表述者没有使用接收者参照系时，接收者就需要通过空间视角转换理解空间信息，而高能力者就具备着理解优势。此外，当使用接收者参照系表述空间信息时，就代表接收过程不再需要额外的空间视角转换，理解效率更高，本文对接收过程的研究结果印证了这一点。说明使用接收者参照系表述空间信息能够帮助接收者降低认知负荷，提高理解效率(Galati & Avraamides, 2013; 马奔川, 2021)。

4.3 场认知风格的影响

本研究发现，相比场依存型，场独立型表述者以第一人称视角选择参照系时更易受空间线索一致性影响，结果支持 H2b，这可能是两类表述者从场景信息中提取空间线索的能力差异造成的。以往研究发现，场独立型比场依存型个体更容易摆脱知觉场的信息干扰和整体性结构的制约，拥有分离空间特征和提取空间线索的优势，在相应空间认知任务中花费时间更短(Davis & Cochran, 1989; Davis, 1991; 游旭群, 于立身, 2000)。而空间线索发挥作用的前提是表述者拥有提取和加工它的能力，所以场独立型表述者更易感受到空间线索的变化并受其影响，而场依存型表述者不具备这种优势，故而不易受空间线索一致性变化的影响。此外，本研究没有发现两种场认知风格表述者的表述效率存在差异，即没有证据支持 H3b。这是因为虽然场独立型表述者更易捕捉空间线索，但也代表着他们更易发现空间线索不一致带来的矛盾，使其在表述过程中产生更多决策冲突，导致表述效率降低。最后，也没有发现场认知风格对理解效率的影响，可能因为接收过程以自上而下的加工方式为主，接收者只需按照表述语句中空间信息的指导寻找目标，对提取空间线索的能力要求不高。

4.4 观察视角的影响

研究发现，相比第一人称视角，第三人称俯视视角下空间线索支持效应、空间视角转换能力的影响以及场认知风格与空间线索之间的交互效应均会减弱或消失，H4 基本成立。在空间线索支持效应方面，第一人称视角的表述过程中存在环境线索支持效应，而在第三人称俯

视视角下不存在；通过对比代表布局线索支持效应大小的效应量发现[5]，相比于第一人称视角，第三人称俯视视角下布局线索的支持效应出现部分减弱。这是由于第三人称俯视视角下，获取场景的整体信息较为容易(Taylor & Tversky, 1996)，导致情境的带入感减弱，从而削弱空间线索的影响。在空间视角转换能力的影响方面，第三人称俯视视角能为交互双方提供与对方视角有关的信息补偿，降低空间视角转换的难度。高能力表述者不需再主动承担认知负荷，能力高低对接收者理解效率的影响也很难体现。在场认知风格与空间线索支持的交互效应方面，在第一人称视角下场独立型表述者选择参照系时比场依存型表述者更易受到空间线索的影响，但在第三人称俯视视角下则没有差异，这是因为第三人称俯视视角易化了空间线索的提取后，提高了场依存型表述者发现和利用空间线索的概率。

另外，通过对比实验 1 与实验 2 的数据结果，本研究发现，相比第一人称视角，第三人称俯视视角下表述者选择他人中心参照系的倾向性更低。根据“最小合作负荷原则”，进行空间语言交互的双方需要共同承担确保相互理解的责任以尽量减少集体努力(Clark & Wilkes-Gibbs, 1986; Clark, 1996; 王笃明 等, 2021)，而第三人称俯视视角能够降低空间视角转换的难度，从而导致无论表述者的空间视角转换能力高低，都会认为自己需要承担确保相互理解的责任变小，即使自己不在表述空间信息时进行空间视角转换，也不会增大集体努力，从而整体上降低了使用他人中心参照系表述空间信息的倾向。第三人称俯视视角能够易化场景整体信息的获取(马奔川, 2021)，所以一般会认为该视角能提高空间任务绩效，但本研究却发现表述者在两种视角下的组织时长和语音时长均没有显著差异。这是因为，一方面，空间线索易显后，其彼此的冲突会变得更加明显，导致两种场认知风格的表述者在选择参照系时都会面临双重决策冲突，即多空间线索冲突让表述者难以选择根据哪种空间线索确定参照系，以及在空间线索提取难度降低时面临是否应该承担更多认知负荷的心理冲突，进而导致空间言语组织时间变长。另一方面，由于场认知风格的差异主要体现在个体对信息、经验进行提取和加工的过程中(游旭群, 2017)，因此在第三人称俯视视角下，场依存型表述者即使能够获取空间线索，也会因缺乏对空间线索的组织和加工经验，从而可能需要更多时间对空间线索进行心理表征。这两个原因共同导致了第三人称俯视视角失去了原本应该因其有利于提取空

[5] 除了第三人称俯视视角下在理解时长（水平 1 与水平 2）方面的布局线索支持效应略大于第一人称视角(表述者参照系：|*Cohen's d* = 0.39| > |*Cohen's d* = 0.36|；接收者参照系：|*Cohen's d* = 0.38| > |*Cohen's d* = 0.33|)，在参照系选择、理解准确性、理解时长（水平 3 与水平 4）方面均远小于第一人称视角。

间线索而获得的加工优势，从而导致其与第一人称视角下的表述绩效没有差异。

最后，通过对比实验 3 与实验 4 的数据结果，本研究既没有发现观察视角对理解绩效的主效应，也没有发现其能够对表述语句参照系与理解绩效的关系产生影响。前者可能是由于接收过程以对理解语句的自上而下加工方式为主，且两种观察视角在空间信息的获取上各有优劣导致的(马奔川, 2021)。而后者则说明语句参照系对理解效率影响的优先级高于视角因素，无论接收者处于何种视角，使用接收者参照系传达空间信息都能让接收者不再额外进行空间视角转换，能有效提高理解效率。

综上，在与空间合作任务相关的工作中，应尽量提供能够同时呈现两种视角的硬件设施，使个体能够根据对空间信息加工的元认知，在空间线索的感知、提取、加工等不同阶段自由选择适合的观察视角。而且，在人人合作的交互策略上，应尽量选择多数空间线索所支持的空间参照系作为双方交流空间信息的基础，以助于减小集体认知负荷、提高整体交互效率。此外，人工智能应遵循“以人为中心”的开发原则(Lemaignan et al., 2017; 周吉帆 等, 2016)，在涉及空间合作任务的人机交互中，应当发挥机器的算力优势，在表述过程中主动承担更多空间视角转换的过程，从人的视角出发寻找最易懂的空间参照系和语言表述方式，以减轻人的认知负荷。在接收过程中，机器也应当能够通过数据训练理解不同空间视角转换能力和不同场认知风格个体的思维模式，以快速适应不同个体的表述方式，提高人机合作的效率。

4.5 不足与思考

本研究仍存在一些不足。一方面，为探讨多线索之间的相互影响，实验设计较为复杂，导致个别交互作用不易解释。此外，目标物体的空间位置对所有因变量存在显著影响，但由于此变量存在多种尺度，例如目标与观察者之间的距离和角度、目标位于阵列中心或边缘等，导致我们在探索多线索影响机制的同时很难再对其进行操纵，只能将其视为额外变量引入固定效应中加以控制，无法得出与之相关的严谨结论。因此，未来可以将目标物体空间位置的某种尺度作为核心变量。另一方面，尽管对表述和接收过程进行了对称研究，但整体上仍缺乏互动和反馈，导致实验任务与真实场景存在差异，且只模拟了小尺度场景，研究结论可能难以应用到大尺度场景中。因此，未来可引入更多的言语互动和反馈过程以及创建大尺度交互场景，以扩大结论的适用场景。

5 结论

综上，本研究得出如下结论：

(1) 第一人称视角下，空间参照系受到空间线索的支持越多，个体越倾向于使用该参照系进行语言表述且交互效率更高；布局线索的支持效应远大于环境线索；相比于场依存型，场独立型表述者选择参照系时所受到空间线索的影响更大；表述者的空间视角转换能力越高，越倾向于在空间语言交互中承担更多的认知负荷，接收者的空间视角转换能力越高理解效率越高。

(2) 采取第三人称视角不仅能削弱空间线索的支持效应和空间视角转换能力对空间语言交互的影响，还会提高使用自我中心参照系表述空间信息的概率，使两类场认知风格表述者的表述过程产生不同程度的决策冲突，但无论何种视角下，使用接收者参照系进行语言表述都是提高理解效率的最优方法。

参考文献

Blake, R., & Fox, R. (1973). The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception & Psychophysics*, *14*(1), 161−185.

Burgess, N. (2006). Spatial memory: how egocentric and allocentric combine. *Trends in cognitive sciences*, *10*(12), 551−557.

Burigo, M., & Schultheis, H. (2018). The effects of direction and orientation of located objects on spatial language comprehension. *Language and Cognition, 10*(2), 298−328.

Carlson, L. A. (1999). Selecting a reference frame. *Spatial Cognition and Computation, 1*, 365−379.

Chen, L. (1982). Topological structure in visual perception. *Science*, *218*(4573), 699−700.

Chen, L. (1984, May). Gestalt laws of proximity and similarity and tolerance spaces. *Acta Psychologica Sinica*, (3), 259−266.

[陈霖. (1984, 3 月). 格式塔和容限空间. *心理学报*, (3), 259−266.]

Chen, L. (2005). The topological approach to perceptual organization. *Visual Cognition*, *12*(4), 553−637.

Clark, H. H., & Wilkes-Gibbs, D. (1986). Referring as a collaborative process. *Cognition, 22*(1), 1−39.

Clark, H. H. (1996). *Using Language*. Cambridge University Press.

Davis, J. K., & Cochran, K. F. (1989). An information processing view of field dependence-independence. *Early Child Development and Care, 43*(1), 129−145.

Davis, J. K. (1991). Educational implications of field dependence-independence. In S. Wapner & J. Demick (Eds.), *Field Dependence-Independence: Cognitive Style across The Life Span* (pp. 149−175). Lawrence Erlbaum Associates.

Duran, N. D., Dale, R., & Kreuz, R. J. (2011). Listeners invest in an assumed other's perspective despite cognitive cost. *Cognition, 121*(1), 22−40.

Enticott, P. G., Ogloff, J. R., & Bradshaw, J. L. (2006). Associations between laboratory measures of executive inhibitory control and self-reported impulsivity. *Personality and Individual Differences*, *41*(2), 285−294.

Galati, A., & Avraamides, M. N. (2012). Collaborating in spatial tasks: partners adapt the perspective of their descriptions, coordination strategies, and memory representations. *In Spatial Cognition VIII: International Conference, Spatial Cognition 2012, Kloster Seeon, Germany, August 31-September 3, 2012. Proceedings 8* (pp. 182−195). Springer Berlin Heidelberg.

Galati, A., & Avraamides, M. N. (2013). Flexible spatial perspective-taking: conversational partners weigh multiple cues in collaborative tasks. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 618.

Galati, A., Michael, C., Mello, C., Greenauer, N. M., & Avraamides, M. N. (2013). The conversational partner's perspective affects spatial memory and descriptions. *Journal of Memory and Language, 68*(2), 140−159.

Galati, A., & Avraamides, M. N. (2015). Social and representational cues jointly influence spatial perspective-taking. *Cognitive Science, 39*(4), 739−765.

Galati, A., Diavastou, A., & Avraamides, M. N. (2018). Signatures of cognitive difficulty in perspective-taking: Is the egocentric perspective always the easiest to adopt? *Language, Cognition and Neuroscience, 33*(4), 467−493.

Galati, A., Dale, R., & Duran, N. D. (2019). Social and configural effects on the cognitive dynamics of perspective-taking. *Journal of Memory and Language, 104*, 1−24.

Goeke, C., Kornpetpanee, S., Köster, M., Fernández-Revelles, A. B., Gramann, K., & König, P. (2015). Cultural background shapes spatial reference frame proclivity. *Scientific Reports, 5*(1), 1−13.

Gramann, K., Müller, H. J., Eick, E. M., & Schönebeck, B. (2005). Evidence of separable spatial representations in a virtual navigation task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(6), 1199−1223.

Hardin, J. W., & Hilbe, J. M. (2012). *Generalized linear models and extensions* (3rd ed.). Stata Press.

Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence, 32*(2), 175−191.

Henson, D. B. (1993). *Visual Fields*. Oxford University Press.

Horton, W. S., & Keysar, B. (1996). When do speakers take into account common ground?. *Cognition*, *59*(1), 91−117.

Hox, J., Moerbeek, M., & Van de Schoot, R. (2017). *Multilevel analysis: Techniques and applications* (3rd ed.). Routledge.

Keysar, B., Barr, D. J., & Horton, W. S. (1998). The egocentric basis of language use: Insights from a processing approach. *Current directions in psychological science*, *7*(2), 46−49.

Keysar, B., Barr, D. J., Balin, J. A., & Paek, T. S. (1998). Definite reference and mutual knowledge: Process models of common ground in comprehension. *Journal of Memory and Language*, *39*(1), 1−20.

Kronmüller, E., & Barr, D. J. (2015). Referential precedents in spoken language comprehension: A review and meta-analysis. *Journal of Memory and Language*, *83*, 1−19.

Lemaignan, S., Warnier, M., AkinSisbot, E., Clodic, A., & Alami, R. (2017). Artificial cognition for social human-robot interaction: An implemen tation. *Artificial Intelligence, 247*, 45−69.

Li, S. X., & Song, G.W. (1994). A study on the congnitive styles of senior middle school students. *Acta Psychologica Sinica*, *26*(04), 378−384.

[李寿欣, 宋广文. (1994). 关于高中生认知方式的测验研究. *心理学报*, *26*(04), 378−384.]

Ma, B. C. (2021). *The influence of layout and spatial perspective on the choosing and understanding of spatial reference*(Unpublished master's thesis). Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou.

[马奔川. (2021). *场景特征、空间视角对言语参照系建构与理解的影响*(硕士学位论文). 浙江理工大学, 杭州.]

McNamara, T. P. (2002, May). How are the locations of objects in the environment represented in memory?. *In International conference on spatial cognition* (pp. 174−191). Springer Berlin Heidelberg.

Mou, W., & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*(1), 162−170.

Newman-Norlund, S. E., Noordzij, M. L., Newman-Norlund, R. D., Volman, I. A., De Ruiter, J. P., Hagoort, P., & Toni, I. (2009). Recipient design in tacit communication. *Cognition, 111*(1), 46−54.

Peer, M., Brunec, I. K., Newcombe, N. S., & Epstein, R. A. (2021). Structuring knowledge with cognitive maps and cognitive graphs. *Trends in Cognitive Sciences, 25*(1), 37−54.

Ryskin, R. A., Brown-Schmidt, S., Canseco-Gonzalez, E., Yiu, L. K., & Nguyen, E. T. (2014). Visuospatial perspective-taking in conversation and the role of bilingual experience. *Journal of Memory and Language, 74*, 46−79.

Ryskin, R. A., Wang, R. F., & Brown-Schmidt, S. (2016). Listeners use speaker identity to access representations of spatial perspective during online language comprehension. *Cognition, 147*, 75−84.

Schober, M. F. (2009). Spatial dialogue between partners with mismatched abilities. In K.R. Coventry, T. Tenbrink, & J. A. Bateman (Eds.), *Spatial Language and Dialogue* (pp. 23−39). Oxford University Press.

Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (2001). Visual memories from nonvisual experiences. *Psychological Science*, *12*(4), 343−347.

Shintel, H., & Keysar, B. (2009). Less is more: A minimalist account of joint action in communication. *Topics in Cognitive Science*, *1*(2), 260−273.

Song. H. Y. （1988）. The preparation and revision note of Cognitive Style Figure Test. In S. J. Xie, & H. C. Zhang (Eds.), *Selected Papers on Cognitive Style*(pp. 261−276). Beijing Normal University Press.

[宋合义. (1988). 认知方式图形测验的编制与修订说明. 见 谢斯骏, 张厚粲(编), *认知方式*(PP. 261−276). 北京师范大学出版社]

Taylor, H. A., & Tversky, B. (1996). Perspective in spatial descriptions. *Journal of Memory and Language, 35*(3), 371−391.

Tosi, A., Pickering, M. J., & Branigan, H. P. (2020). Speakers' use of agency and visual context in spatial descriptions. *Cognition, 194*, 104070.

Vukovic, N., & Williams, J. N. (2015). Individual differences in spatial cognition influence mental simulation of language. *Cognition, 142*, 110−122.

Wang, D. M., Ma B. C., Tian,Y., Wang, Q. J., & Wang, C. H.(2021). Selection of reference framein spatial communication and its influencing factors. *Space Medicine & Medical Engineering*, *34*(5), 399−406.

[王笃明, 马奔川, 田雨, 王琦君, 王春慧. (2021). 空间语言交互中参照系的选择及其影响因素. *航天医学与医学工程, 34*(05), 399−406.]

Xiao, C. L., Fan, Y., Xu, L. F., & Zhou, R. L. (2019). Human-Centered Human-robot Natural Spatial Language Interaction. *Chinese Journal of Applied Psychology , 25*(04), 319−331.

[肖承丽, 范丫, 徐刘飞, 周仁来. (2019). 以人为中心的人-机器人自然空间语言交互. *应用心理学, 25*(04), 319−331.]

Xiao, C. L., Sui, Y.Q., Xiao, S.H., & Zhou, R. L. (2021). A new perspective on spatial interaction research: The effects of multiple social factors. *Advances in Psychological Science, 29*(05), 796−805.

[肖承丽, 隋雨檠, 肖苏衡, 周仁来. (2021). 空间交互研究新视角：多重社会因素的影响. *心理科学进展, 29*(05), 796−805.]

Xie, C. X., Liu, Q., Li, A. J., Tao, W. D., & Sun, H. J. (2009). Frame of Reference in the Mental Representation of Objects Layout. *Acta Psychologica Sinica, 41*(05), 414−423.

[谢超香, 刘强, 黎安娟, 陶维东, 孙弘进. (2009). 空间场景表征中的参照系选取. *心理学报, 41*(05), 414−423.]

You, X. Q. & Yu, L. S. (2000). The relationship between cognitive profile, field-independence and spatial orientation in flight. *Acta Psychologica Sinica*, *32*(02), 158−163.

[游旭群, 于立身. (2000). 认知特征、场独立性与飞行空间定向关系的研究. *心理学报*, *32*(02), 158−163.]

You, X. Q. (Ed). (2017). *Aviation Psychology: theory, practice and application*. Zhejiang Education Publishing House.

[游旭群. (主编). (2017). *航空心理学: 理论, 实践与应用.* 浙江教育出版社.]

Zhang, J. Q., Yan, H. F., Chu, J. D., & Li, C. B. (2021). Statistical analysis of randomized complete block design with repeated measure data using Generalized Linear Mixed Models (GLIMMIX). *Acta Agronomica Sinica*, *47*(02), 294−304.

[张久权, 闫慧峰, 褚继登, 李彩斌. (2021). 运用广义线性混合模型分析随机区组重复测量的试验资料. *作物学报, 47*(02), 294−304.]

Zhang, Q. (2017). *The development and validation of the measurement tool for three dimensional perspective taking spatial ability*(Unpublished master's thesis). Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou.

[张琪. (2017). *三维视角转换空间能力测量工具的开发与验证*(硕士学位论文). 浙江理工大学, 杭州.]

Zhao, X. N., & You, X. Q. (2007). The experimental research about the influence of field cognition mode on mental rotation. *Chinese Journal of Applied Psychology, 13*(04), 334−340.

[赵晓妮, 游旭群. (2007). 场认知方式对心理旋转影响的实验研究. *应用心理学, 13*(04), 334−340.]

Zhou, J. F., Xu, H. K., Tang, N., Shi, B. H., Zhao, Y., Gao, T., & Shen, M. W. (2016). The "Strong-Cognition" psychology research: implications of AlphaGo. *Chinese Journal of Applied Psychology, 22*(01), 3−11.

[周吉帆, 徐昊骙, 唐宁, 史博皓, 赵阳, 高涛, 沈模卫. (2016). "强认知"的心理学研究：来自 AlphaGo 的启示. *应用心理学, 22*(01), 3−11.]

The multi-cue influence mechanism of spatial communication across different perspectives

JIAN Jinhan[1,2], ZHANG Junheng[1,2], YAN Bihua[1,2], JI Ming[1,2]

([1] *School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi' an* 710062, *China*)

([2] *Shaanxi Key Laboratory of Behavior and Cognitive Neuroscience, Xi' an* 710062, *China*)

Abstract

Spatial communication refers to the process of exchanging spatial information among collaborators in spatial cooperation tasks. Previous research has shown that social-spatial cues, environmental cues, and layout cues can influence spatial communication. However, the exploration of their multi-cue impact mechanisms has been insufficient. Additionally, factors like perspective and field cognitive style are worthy of investigation as they may affect spatial communication through their influence on spatial perspective-taking processes and spatial cue extraction. Therefore, this study investigated the effects of consistency in multiple spatial cues, spatial perspective-taking ability, and field cognitive style on spatial communication under different perspectives.

Building upon the classical paradigm of spatial communication, this study investigated the multi-cue impact mechanisms by constructing more realistic small-scale indoor virtual environments. Study 1 examined the multi-cue effects on the expression process from the first-person perspective (Experiment 1) and the third-person perspective (Experiment 2). Study 2 explored the multi-cue effects on the reception process from the first-person perspective (Experiment 3) and the third-person perspective (Experiment 4). Study 1 employed a three-factor mixed design, with the core within-subject independent variable being the consistency of spatial cues, derived from social-spatial, environmental, and layout cues. The remaining between-subject variables were spatial perspective-taking ability and field cognitive style. Dependent variables included the ratio of choosing self or other-centric reference frames,duration of language organization and expression. Study 2 utilized a four-factor mixed design, introducing an additional within-subject independent

variable, the reference frame of expression statement. Dependent variables comprised accuracy and time taken for understanding expression statements.

All data were analyzed using a generalized linear mixed model. Findings revealed that, in the first-person perspective, greater support for spatial reference frames led to a higher likelihood of expresser using them for spatial information, shorter language organization duration, and faster comprehension and higher comprehension correctness of corresponding spatial statements by receiver. Moreover, layout cues had a greater support effect than environmental cues. The higher the spatial perspective-taking ability, the more inclined the expresser is to choose to express spatial language using other-centric reference frame, and the more correct and time-consuming it is for the receiver to understand the spatial utterance. Field-independent expresser showed a more pronounced effect of spatial cue support in choosing reference frames compared to field-dependent expresser. In spatial communication from a third-person perspective, layout cues continued to have a support effect, while environmental cues did not. In both perspectives, receiver comprehended spatial language expressed using receiver-centric frame more quickly. However, overall, no significant difference was found in interaction performance between the two perspectives.

The results indicate that: First, in the first-person perspective, there is a presence of spatial cue support effects, with the support effect of layout cues significantly outweighing that of environmental cues; regarding reference frame selection, the consistency of spatial cues has a greater impact on field-independent expresser; the higher the spatial perspective-tasking ability, the more the expresser tends to take on a higher cognitive load and the higher the efficiency of the receiver's comprehension. Second, the third-person perspective diminishes the supportive effects of spatial cues and the influence of spatial perspective-taking ability on communication, increases the likelihood of using a self-centric reference frame to describe spatial information, and complicates the process of representation to varying degrees for the two types of field cognitive style expressers. But the use of a receiver's frame of reference for linguistic representation is the optimal method for improving comprehension efficiency regardless of perspective.

Keywords spatial communication, spatial frame of reference, spatial perspective taking, field cognitive style, first/third person perspective

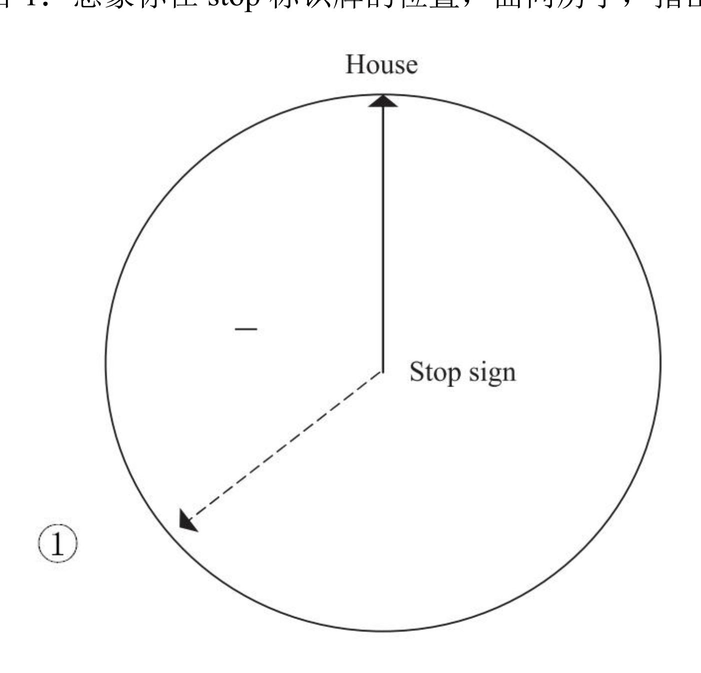
附录 客体视角测验

客体视角测验指导语

在下示地图中有很多标志物，请根据题目要求，想象自己处于某个标志物的位置，面部朝向另一个标志物，判断第三个标志物相对自己的方位，圆圈中正前方的箭头代表面部朝向的方向。将判断出的方位用铅笔在圆圈中画作箭头，并用①②③等来标记题目序号。测验过程中不可转动纸张、扭动头部或躯体。



例如，题目 1：想象你在 stop 标识牌的位置，面向房子，指出红绿灯的方位



客体视角测验题目

题目 1：请您想象自己站在 **stop 标识牌**的位置，面朝**红绿灯**，请指出**猫**的方位

题目 2：请您想象自己站在 **stop 标识牌**的位置，面朝**红绿灯**，请指出**房子**的方位

题目 3：请您想象自己站在**房子**的位置，面朝**猫**，请指出 **stop 标识牌**的方位

题目 4：请您想象自己站在**猫**的位置，面朝**房子**，请指出**树**的方位

题目 5：请您想象自己站在**猫**的位置，面朝**花**，请指出**房子**的方位

题目 6：请您想象自己站在**汽车**的位置，面朝 **stop 标识牌**，请指出**猫**的方位

题目 7：请您想象自己站在**猫**的位置，面朝**花**，请指出 **stop 标识牌**的方位

题目 8：请您想象自己站在 **stop 标识牌**的位置，面朝**房子**，请指出**红绿灯**的方位

客体视角测验答题纸

被试编号：__________

